

# Theme VI: Precast structures

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **10 (1976)**

PDF erstellt am: **08.08.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

**VI**

**Constructions en béton préfabriqué**

**Vorfabrizierte Bauwerke**

**Precast Structures**

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

**Sicherheit und Stabilität von Elementen und Bauwerken**

Safety and Stability of Elements and Structures

Sécurité et stabilité des éléments et des constructions

HORST SCHMIDT  
Prof. Dr.-Ing.  
Institut für Stahlbeton  
Forschungszentrum des  
VEB Betonleichtbaukombinat  
Dresden, DDR

**1. Zum Begriff der Sicherheit und Stabilität**

Das enorme Tempo, das in der Entwicklung der Bautechnik eingetreten ist, hat das Problem der Sicherheit der Bauwerke neu gestellt. Die alte empirische Anschauung von der "absoluten Sicherheit" muß durch eine wissenschaftlich begründete Sicherheitstheorie abgelöst werden.

Über diese technisch-philosophische Grundfrage des Bauwesens ist in den vergangenen Jahren bereits eine umfangreiche Arbeit geleistet worden, wie viele dazu durchgeführte wissenschaftliche Veranstaltungen und das starke Anwachsen der Zahl von Aufsätzen zu dieser Problematik in der Literatur beweisen. Die IVBH hat daran entsprechend ihrer Aufgabenstellung einen großen Anteil, wie dies u.a. das bedeutende Thema "Sicherheit" des VIII. Kongresses /1/, das umfangreiche Symposium "Über neue Aspekte der Tragsicherheit und ihre Berücksichtigung in der Bemessung" /2/ und das kritische Podiumsgespräch im Rahmen des Symposiums "Bemessung und Sicherheit von Stahlbeton-Druckgliedern" /3/ veranschaulichen. Erwartungsgemäß konnte diese entscheidende Frage noch nicht durch eine allseits abgeklärte, einheitliche neue Sicherheitstheorie ausreichend anwendungsreif beantwortet werden. Dies hat neben den objektiven Schwierigkeiten, die insbesondere in der wegen des stochastischen Charakters komplizierten Bereitstellung exakter Angaben für die strenge mathematische Behandlung zu suchen sind, Ursachen in der Vielfalt der praktischen Auswirkungen, weil sich dafür nicht nur die Bauschaffenden, sondern die gesamte Gesellschaft verantwortlich interessiert /4/.

Deutlich erkennbar ist, daß die Sicherheit der Bauwerke mehr und mehr mit Hilfe der wirklichkeitsnahen stochastische Einflüsse berücksichtigende Methoden errechnet wird und die bisher üblichen nur deterministisch orientierten Betrachtungsweisen zurückgedrängt werden. Der bereits von vielen Ländern angenommene ISO-Standard /5/, an dessen Entwurf auch die IVBH mitgewirkt hat, liefert dafür

einen Beweis. Von einer umfassenden Anwendung der Zuverlässigkeitstheorie für die Vorausbestimmung der Sicherheit der Bauwerke sind wir heute jedoch weit entfernt, weil diese Theorie zum Nachweis einer festgelegten Bestands- bzw. Versagenswahrscheinlichkeit eine sehr komplizierte und aufwendige mathematische Behandlung mit umfangreichen teilweise kaum zu bewältigenden statistischen Erfassungen erfordert. Die weitgehendste Annäherung an diese Theorie, wie sie u.a. in der heute bereits angewandten teilprobabilistischen Methode der Berechnung nach Grenzzuständen zum Ausdruck kommt, bleibt jedoch das Hauptziel.

Im Vergleich zu dem Begriff der Sicherheit, wo eine Vielzahl von objektiven und subjektiven technischen, ökonomischen und philosophischen Faktoren mitwirken, wird mit dem Begriff der Stabilität nur ein rein technisches Teilgebiet der Sicherheit umrissen. Seine besondere Herausstellung kann mit der für die Sicherheit eines Bauwerkes erstrangigen Frage nach der Standsicherheit der Konstruktion begründet werden. Stabilität bedeutet, daß das Element oder Bauwerk unter allen möglichen Beanspruchungen, die im Verlauf der Herstellung, des Transportes, der Montage und der Nutzung einwirken "stabil", d.h. standfest bleiben muß.

Im Rahmen des Unterthemas VIa sollen nicht die allgemeinen Fragen und Aspekte der Sicherheit vordergründig behandelt werden. Entsprechend dem Hauptthema wird erwartet, daß zu den speziellen Problemen, die sich mit der Anwendung der Betonfertigteil-Bauweise ergeben (im Folgenden teilweise angedeutet), Untersuchungsergebnisse, Erfahrungen und Lösungen mitgeteilt und diskutiert werden. Die Methode der Berechnung nach Grenzzuständen mit aufgeteilten Faktoren ermöglicht es, diese Besonderheiten explizit zu erfassen und in die Sicherheitsbetrachtung direkt mit einzubeziehen. Damit wird auch ein Beitrag zur Schaffung einer neuen Sicherheitstheorie geleistet.

## 2. Sicherheit und Stabilität von Betonfertigteilen

Die Frage nach der Sicherheit und Stabilität von bewehrten Betonelementen wird aus folgenden Gründen in Erweiterung der Fragestellung für das monolithische Bauwerk aufgeworfen:

Während des Herstellungsprozesses, des Transportes und des Einbaues der Betonelemente dürfen

- keine Menschenleben gefährdet werden;
- keine Ausrüstungen, wie Fertigungsaggregate, Formen, Transportfahrzeuge, Hebemittel u.a. zerstört oder beschädigt werden;
- keine Beschädigungen, ungewollte bleibende Verformungen oder Brüche der Fertigteile eintreten, die einen Einbau ausschließen.

Die ausreichend fundierte Beantwortung dieser Frage ist mit den bisherigen allgemeingültigen Ergebnissen über Sicherheit und Stabilität von Baukonstruktionen nicht allein möglich. Weitgehendere Überlegungen über die auftretenden und anzunehmenden Beanspruchungen und die aus den unterschiedlich zu bewertenden Auswirkungen auch unterschiedlich festzulegenden Sicherheiten gegen eine ungewollte Gefahr sind dazu notwendig.

### 2.1. Bei der Herstellung

Für die Sicherheit und Stabilität des aus Fertigteilen errichteten Bauwerkes ist es notwendig, daß das Betonelement mit seinen Baustoffeigenschaften und seiner inneren und äußeren Geometrie dem im Projekt geforderten Werten innerhalb eines Toleranzbereiches entsprechen muß, um die volle Funktionstüchtigkeit im Bauwerk zu gewährleisten.

Änderungen von bewehrten Betonelementen auf der Baustelle sind gar nicht oder nur bedingt mit erheblichem Aufwand möglich. Die Prüfung aller Eigenschaften auf der Baustelle ist nicht nur sehr beschwerlich, sondern vielfach technisch-ökonomisch nicht möglich. Die zerstörungsfreien Prüfmethode zur Messung der Betoneigenschaften und zur Fixierung der Lage der Bewehrung sind noch sehr ungenau bzw. sehr zeit- und kostenaufwendig. Die Überprüfung der Vorspannung ist fast überhaupt nicht möglich. Selbst die genaue Ermittlung der äußeren wesentlichen Abmessungen bereitet oft erhebliche unliebsame Erschwernisse auf der Baustelle.

Ein beachtlicher Vorteil der Fertigteilbauweise ist es aber, daß in einer stationären industriell organisierten Fertigungsstätte durch Anwendung eines geschlossenen Qualitätssicherungssystems die Toleranzen in den geometrischen Abmessungen und die Streuungen der Betoneigenschaften soweit eingegrenzt werden können, damit diese günstigen Aspekte bei der Bewertung der Sicherheit in einer Form einfließen, die direkt zur Verbesserung der Ökonomie der Bauaufgabe führt. Das Qualitätssicherungssystem schließt alle Maßnahmen auf technischem, organisatorischem, kadernmäßigem und ökonomischem Gebiet ein, die der Beherrschung des Produktionsprozesses zur qualitätsgerechten Produktion dienen. Dabei bilden die Qualitätsentwicklung, die Qualitätssicherung und die Qualitätskontrolle eine Einheit. Grundlage bilden hierbei staatliche Vorschriften, wie z.B. in der DDR die ASMW-VW 1184 /6/ über deren Grundprinzipien Wahl /7/ berichtet oder in der BRD die DIN 1084 /8/, die Grimm /9/ erläutert.

In der DDR ist seit 1970 eine Vorschrift über den Nachweis der Betondruckfestigkeit mit Hilfe statistischer Qualitätskontrolle /10/ gültig, die es den Betonwerken erlaubt in Abhängigkeit von der in ihrer Mischstation nachgewiesenen Standardabweichung die anzustrebende mittlere Betonfestigkeit für die im Projekt geforderte Rechenfestigkeit selbst zu bestimmen. Der wirtschaftliche Vorteil, durch eine geringere Streuung den Zementeinsatz reduzieren zu können, liegt hier offen auf der Hand, wie in Bild 1 (nächste Seite) erkennbar.

Zur Kontrolle der äußeren Geometrie der Betonfertigteile besteht die Tendenz zur Entwicklung spezieller z.T. automatisierter Meßplätze. Entwicklungen der UdSSR stellt Neumann /11/ vor. Eine automatisierte Anlage zur Kontrolle der Abmessungen beliebig im Raum angeordneter Fertigteile befindet sich im Institut für Stahlbeton Dresden in der Entwicklung. Mittels eines Tastfühlers werden die Umrisse des Fertigteiles festgestellt, mit den vorprogrammierten Solldaten verglichen und das Ergebnis auf einer Kontrollkarte ausgedruckt. Mit der Auswertung dieser laufenden Kontrollmessungen werden statistische Angaben über Toleranzen gewonnen, die eine weitere genauere Aussage über wirklich vorhandene Querschnitte, Eigengewichte, Auflagerflächen usw. erlauben, um sie künftig in die Sicherheitsbetrachtungen direkt mit einzubeziehen.

Als ein erstes Problem zur Diskussion im Rahmen dieses Themas stellt sich damit folgende Frage:

Wie können die erhöhten Qualitätssicherungen bei der Herstellung der Betonfertigteile in die Sicherheitskonzeptionen eingebaut werden, damit wirtschaftliche Vorteile ohne Herabsetzung der Gesamtsicherheit des aus Fertigteilen errichteten Bauwerkes eintreten ?

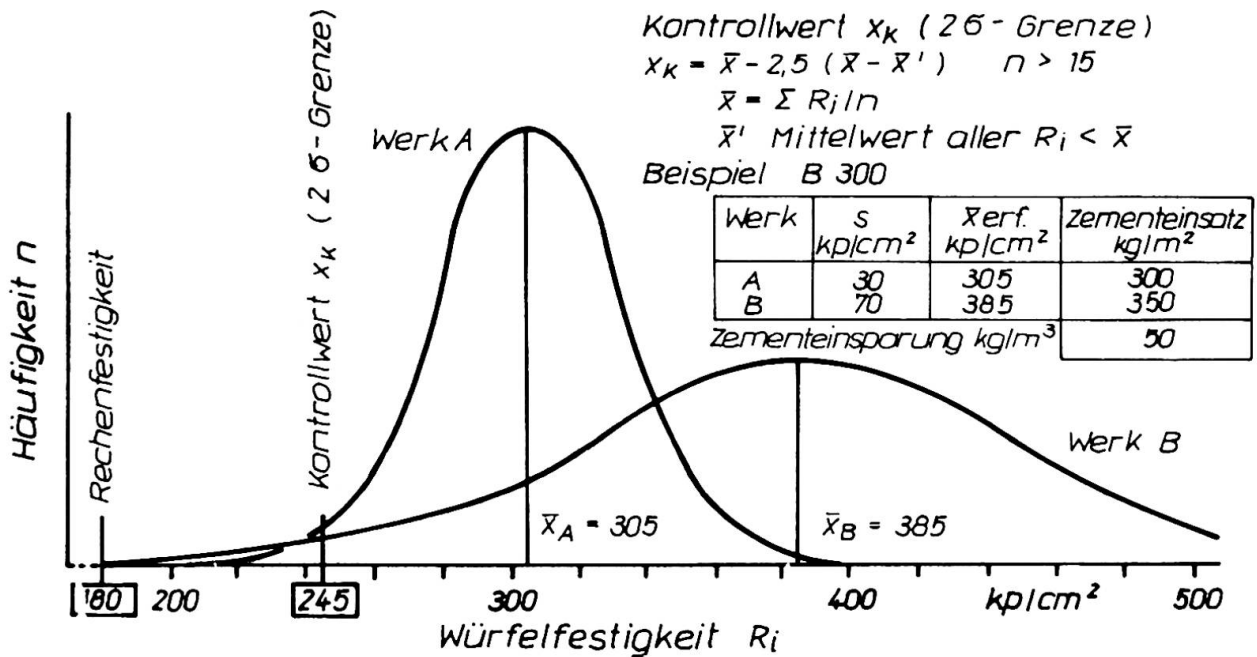


Bild 1 Erforderlicher Mittelwert der Betonfestigkeit B 300 zur Einhaltung der Kontrollfestigkeit nach DAMW-VW 968 /10/ bei Standardabweichungen  $s = 30 \text{ kp/cm}^2$  und  $70 \text{ kp/cm}^2$

Im Herstellungsprozeß wird das Betonfertigteile bereits vielfältigen Beanspruchungen unterworfen, obwohl die Betonfestigkeit als Funktion der Erhärtungszeit und des Erhärtungsregimes noch nicht den 28-Tage-Normwert erreicht hat. So wirken beim Ausschalen, beim Abheben von der Form, bei der Einleitung der Vorspannung und durch Temperatur- oder Schwindverformungen Kräfte, deren genauere Kenntnis ebenso wie die zum Belastungszeitpunkt vorhandene Betonfestigkeit die Grundlage für eine wirtschaftlich optimale Sicherheit darstellen.

Die vorliegenden umfangreichen Untersuchungen zur Verteilungsfunktion der Betonfestigkeit gehen von den 28 Tagefestigkeiten aus. Es ist jedoch anzunehmen, daß die Frühfestigkeiten nicht den gleichen statistischen Verteilungsgesetzen und insbesondere die Beziehungen der Druckfestigkeit zur Reißfestigkeit, Verbundfestigkeit und dem Elastizitätsmodul nicht mit den 28 Tagewerten korrespondieren. Diese Beziehungen der Frühfestigkeiten werden gleichzeitig durch die Methoden der Erhärtungsbeschleunigung z.B. Warmbehandlung bestimmt. Im Institut für Stahlbeton Dresden wurde z.B. für die 1 Tagefestigkeit warmbehandelter Betone eine Standardabweichung der Betonfestigkeit von 46 bis 72 % der Standardabweichung der 28 Tagefestigkeit festgestellt.

Grundsätzlich unterschiedliche Auffassungen gibt es auch zur erforderlichen Betonfestigkeit zum Zeitpunkt der Eintragung der Vorspannung bei Fertigteilen mit sofortigem Verbund. Die Vorschriften /12/ /13/ fordern generell 80 % der 28 Tagefestigkeit als Mindestwert, die Vorschrift der UdSSR /14/ verlangt ausgehend von der Sicherheit des Verbundes in Abhängigkeit von den Stahlarten und der Betonklasse eine Mindestfestigkeit von 140 bis 300 kp/cm<sup>2</sup> und die Vorschrift der USA /15/ schreibt die erforderliche Umspannfestig-

keit indirekt vor, indem zulässige Zug- und Druckbeanspruchungen als Funktion der tatsächlich vorhandene Umspannfestigkeit vorgegeben werden. Die zulässige Druckbeanspruchung ist dabei mit  $0,6 R_p$  der Umspannfestigkeit relativ höher als die nach Aufbringen aller Lasten mit  $0,45 R_p$ . Ausgehend von den zulässigen Spannungen in /12/ und der Beachtung der Festigkeitsstreuung des Betons, ist in der DDR eine Umspannfestigkeit von  $0,62$  bis  $0,70 R_{28}$  als Mindestwert bei statistischer Qualitätskontrolle zugelassen.

Damit ergeben sich folgende diskussionswerte Probleme:

Auf welches Minimum kann der Sicherheitsabstand zwischen den speziellen Beanspruchungen der Betonfertigteile im Herstellungsprozeß und der von den zeit- und prozeßabhängigen Betonfestigkeiten bestimmten Tragfähigkeit reduziert werden, um damit einen wirtschaftlich optimalen Fertigungsprozeß zu gestalten ?

Welche Umspannfestigkeiten sind für Betonfertigteile aus sicherheitstheoretischer und wirtschaftlicher Sicht optimal ?

## 2.2. Beim Transport und der Lagerung

Die Beanspruchung, die Betonfertigteile während des Transportes oder bei der Lagerung erfahren, sind durch folgende Besonderheiten charakterisiert:

- Die Betonfestigkeit hat vielfach noch nicht den 28-Tage-Normwert erreicht.
- Der Angriff der Einzelkräfte aus den Anschlagmitteln erfolgt an anderen Stellen und in einer anderen Art wie die Stütz- und Verbindungskräfte im eingebauten Zustand des Fertigteil.
- Die Lage der Fertigteile und damit die Wirkung der Eigengewichtslasten ist häufig stark abweichend vom Einbauzustand ebenso wie die Stützkräfte der Transportfahrzeuge und bei der Zwischenlagerung.
- Der Beanspruchungszustand ist stets relativ kurz aber durch dynamische Kräfte beeinflusst.

Diesen besonderen Beanspruchungen muß bei ausreichender Sicherheit unter Beachtung der folgenden Prämisse entsprochen werden:

- Frühestmöglicher Transport, um die Formen und Fertigungslinien optimal auszunutzen.
- Möglichst keine zusätzlichen Bewehrungen vorsehen, die nur für den kurzfristigen Transport und Lagerprozeß erforderlich sind.

Das Anschlagen der Betonfertigteile und die Form der Anschlagmittel sind ganz entscheidend für die Beanspruchung bei bestimmten Transportvorgängen. Bekannt sind einbetonierte Transportösen, speziell angeordnete Aussparungen für den Transport, einbetonierte Schraubhülsen oder andere Verbindungsmittel und das Anschlagen mit Klemmzangen, Vakuumhebern und anderen Transportmitteln, die keinerlei zusätzliche konstruktive Ausbildungen für den Transport am Betonfertigteil erforderlich machen. Greifen wir als Beispiel die Tragöse heraus. Wie muß eine solche Tragöse ausgebildet sein und nach welchen Gesichtspunkten kann sie berechnet werden. In der DDR wurden als Grundlage der Vorschrift über Tragösen /16/ Versuche entsprechend Bild 2 durchgeführt und als Kriterium zur Festlegung der zulässigen Last einschließlich eines Massenkraftfaktors die bleibende Verformung des Schenkelabstandes gewählt.



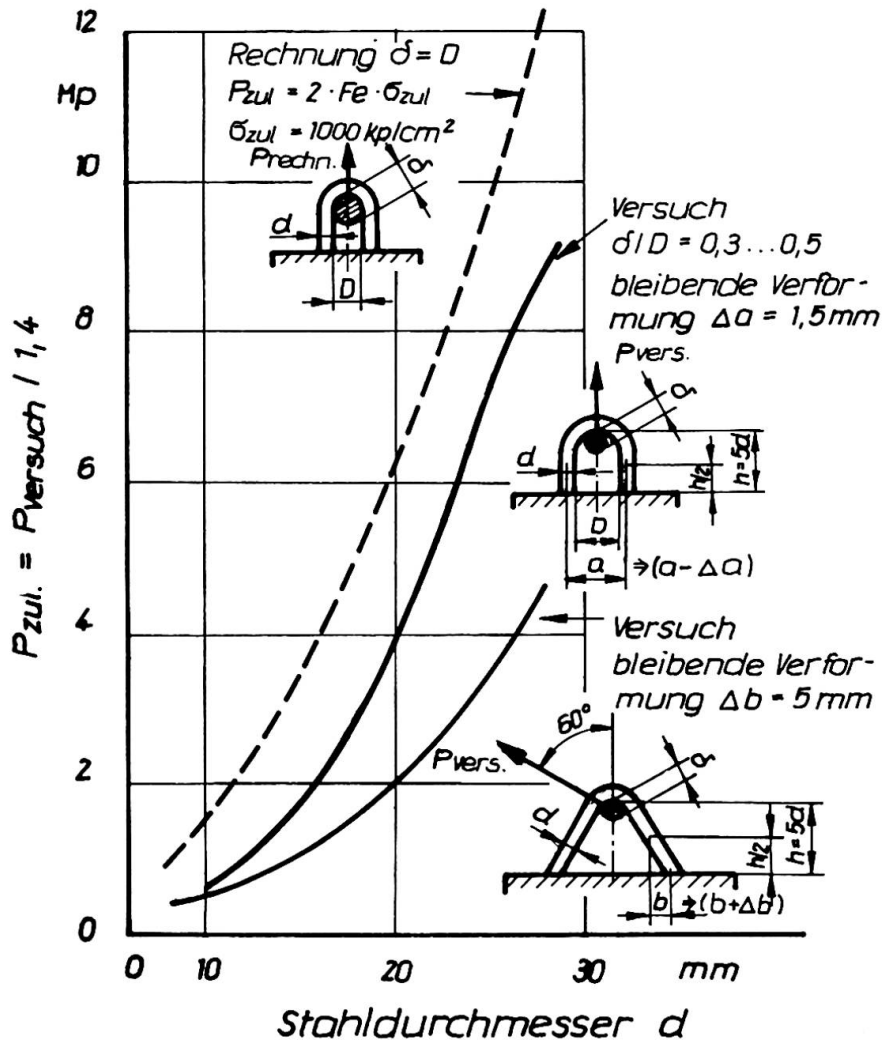


Bild 2

Zulässige Traglasten für Tragösen nach /16/ als Funktion der bleibenden Verformung der Schenkel (Versuchsergebnisse) St A I mit  $\sigma_s = 2400 \text{ kp/cm}^2$

Ein weiteres Problem ist somit:

Welche Forderungen hinsichtlich konstruktiver Durchbildung und notwendiger Sicherheiten sind an die Einbauteile zu stellen, die speziell für den Transport vorgesehen sind ?

Von Bedeutung ist dabei, ob z.B. mittels einer Traverse nur vertikale Kräfte angreifen oder ob mittels Schrägseilzug auch horizontale Kräfte das Betonfertigteile beanspruchen, wie überhaupt Angriffspunkt und -richtung die Sicherheit entscheidend beeinflussen. Untersuchungen über den Stabilitätszustand von Betonfertigteilen im Transportzustand sind deshalb für viele Fälle unbedingt erforderlich. So ist das Problem des Knickens, Kippens und Beulens von schlanken, hohen oder großflächigen Fertigteilen gerade für die Transportvorgänge zur Beurteilung der Sicherheit von allergrößtem Interesse. Der Bereitstellung von Berechnungsmethoden zur Seitenstabilität von stabförmigen Baugliedern wird daher in letzter Zeit erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt /17/ /18/ /19/ /20/ /21/ /22/. Dabei besteht auch hier die Problematik in der Festlegung der erforderlichen Sicherheit bei fortschreitender Kenntnis des Werkstoffverhaltens. Gleichzeitig werden Maßnahmen z.B. Montageverspannung /23/ und Hilfstraversen /24/ zur Beherrschung dieses kritischen Zustandes ohne zusätzliche Aufwendungen am Bauelement vorgeschlagen.

Hieraus läßt sich folgende Frage ableiten:

Welche Festlegungen und Sicherheitsforderungen sind auf Grund welcher Untersuchungen zum Knicken, Kippen und Beulen von Betonfertigteilen im Transportzustand in die Bauvorschriften aufgenommen worden oder welche theoretischen oder Versuchsergebnisse können in einer für die praktische Anwendung aufbereiteten Form dazu bereitgestellt werden ?

Der rollende Transport auf Schiene oder Straße erzeugt Schwingungen und Stöße, die insbesondere beim Rangieren oder auf der unebenen Baustraße beachtliche Größen erreichen. Ledderboge und Danilow /25/ geben bei loser Zweipunktauflagerung von Balken eine Erhöhung des Biegemomentes um das 3,5-fache an. In der Praxis wird daher die dynamische Transportbeanspruchung durch elastische Zwischenlagen, Verspannungen oder spezielle Pufferkonstruktionen /26/ reduziert. Allgemein werden diese Beanspruchungen im Entwurf nur grob abgeschätzt und nach Durchführung des Transportes erfolgt eine augenscheinliche Beurteilung hinsichtlich aufgetretener Risse oder anderer ungewollter Beschädigungen /27/.

Es wird deshalb die Frage nach quantitativen Meßwerten über derartige Transportbeanspruchungen, die als Grundlage einer genaueren Bemessung dienen können, gestellt.

### 2.3. Bei der Montage

Der Montagezustand verlangt eine besonders sorgfältige Durchdringung aller möglichen Beanspruchungszustände unter Beachtung einer ausreichenden Standsicherheit der einzelnen Abschnitte bis zur Fertigstellung des Gesamtbauwerkes. Im Gegensatz zur monolithischen Bauweise, mit ihren kontinuierlichen festen Verbindungen der Bauwerksteile, ist die Fertigteilbauweise durch Verbindungen der Einzelelemente charakterisiert, die im Montagezustand oft anders wirken als im späteren Gebrauchszustand oder die prinzipiell beweglich ausgebildet sind. Hierbei ist zu beachten, daß die Beanspruchungen infolge Wind und die Wirkung nur der Eigenmasse zu ungünstigen Lastkombinationen führen können, worauf Tümler /28/ hinweist. Grundsätzlich ist der Montageaussteifung besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Unter der Voraussetzung, daß das gewählte statische System und die angenommenen einwirkenden Kräfte während der einzelnen Montageabschnitte zutreffend sind, ist die Frage zu stellen, ob die rechnerische Sicherheit, konkret das Verhältnis des unteren Grenzwertes des Widerstandes zum oberen Grenzwert der Beanspruchung, kleiner als im Gebrauchszustand sein kann, da der Montagezustand relativ kurz (keine Einflüsse aus der Dauerbeständigkeit) und die Auswirkungen einer unvorhergesehenen Unterschreitung dieser Sicherheit in der Regel geringer als im Gebrauchszustand sind. Durch früher erkennbare größere Verformungen oder Ribbildungen können mögliche Bruchgefahren beseitigt, einzelne Fertigteile noch ausgewechselt oder verstärkt werden. Dies ist für die wirtschaftliche Durchführung der Montage z.B. mit besonderen Montageaussteifungen u.a. vorübergehender Maßnahmen von großer Wichtigkeit. Vielfach wird diese Frage von vornherein verneint mit der Begründung, daß im Bau- und Gebrauchszustand grundsätzlich die gleichen Sicherheiten gegen eine Gefährdung von Menschenleben gelten müssen. In einigen Vorschriften sind solche Festlegungen getroffen, wie z.B. in der DIN 1045 /29/, wo der Sicherheitsbei-

wert  $\gamma_M$  für den Montagezustand bei Biegung und Biegung mit Längskraft auf 1,3 abgemindert werden kann. Die internationalen Richtlinien zur Berechnung und Ausführung von Bauwerken des CEB-FIP /30/ sehen prinzipiell auch diese Möglichkeit vor.

Es soll deshalb hier die folgende Frage zur Diskussion gestellt werden:

Können die rechnerischen Sicherheiten im Montagezustand für einzelne Elemente, Abschnitte und das gesamte Bauwerk geringer angesetzt werden als für den späteren Gebrauchszustand?

Die Verbindungen der Fertigteile erfordern bereits im Montageablauf eine sorgfältige Einschätzung ihrer Wirkungsweise, weil häufig nur eine stufenweise Herstellung dieser erst im Gebrauchszustand voll funktionierenden Verbindungen erfolgt. Bekannt sind die übergreifenden Anschlußseisen, die erst mittels Ortbeton eine kraftschlüssige Verbindung herstellen; Schweißverbindungen mit speziell einbetonierten Anschlußteilen oder Verschraubungen, die sofort voll oder teilweise tragfähig ausgeführt werden können; Verbindungen mittels Spanngliedern und andere, eine Übersicht hierzu gibt Rehm /31/.

Will man die Tragfähigkeit der Betonfertigteile im Bau voll ausschöpfen, so dürfen die Verbindungen nicht als "schwache Stellen" der Konstruktion diesem Bestreben entgegenwirken. Es folgt daraus, daß die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit eines Bauwerkes aus Betonfertigteilen sehr entscheidend von der zweckmäßigsten Konstruktion dieser Verbindungen und ihrer unkomplizierten Ausführbarkeit bei der Montage abhängig sind. Die Einflüsse auf die Widerstandsfähigkeit dieser Fertigteilverbindungen während der Montage sind vielfältig. Es sind dies die Produktions- und Montageungenauigkeiten, die Festigkeiten des Vergußbetons oder anderer Vergußmassen, die Qualität der Schweiß- und anderer sofort kraftschlüssiger Verbindungen und die Witterungseinflüsse. Gleichzeitig gewinnen Verbindungslösungen bei der Herstellung von Fertigteilen aus verschiedenen Baustoffen wie z.B. Mehrschichtwandplatten an Bedeutung /32/ /33/. Für die Verbindungen gibt es in den einzelnen Ländern auf der Grundlage umfangreiche experimenteller Arbeiten z.B. /34/ /35/ /36/ /37/ (siehe auch Bild 3) eine Vielzahl von Zulassungen und Vorschriften z.B. /38/. In den meisten Fällen werden die experimentellen Ergebnisse durch Division mit einem Sicherheitsbeiwert zwischen  $\gamma = 3$  und 5 für die Praxis in Form zulässiger Werte aufbereitet /39/.

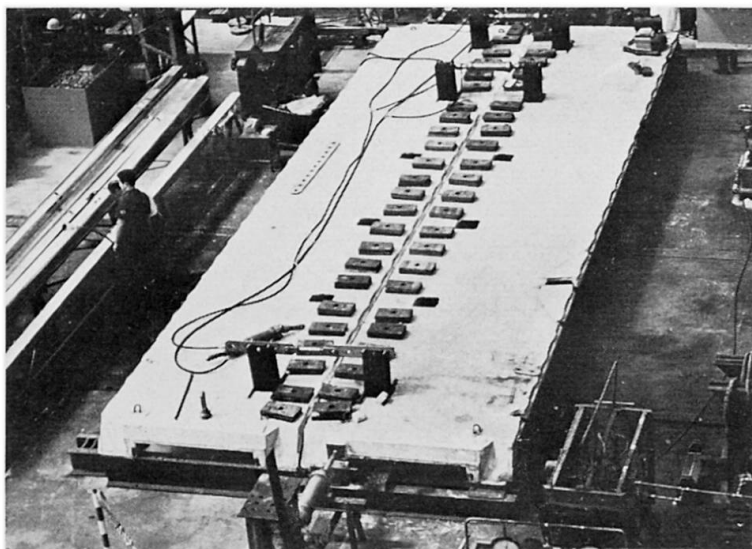


Bild 3

Erprobung der Scherfestigkeit der Fugen von 2,25 x 12 m  $\pi$ -Dachplatten /40/ zwecks Anwendung als schubsteife Dach-scheibe /41/

Für die Weiterentwicklung der Verbindungen im Hinblick auf die Sicherheit des Gesamtbauwerkes erscheint es notwendig, daß auch für dieses wichtige Konstruktionsdetail auf statistischer Grundlage beruhende Sicherheitsbetrachtungen (z.B. Beck /42/ und Struck /43/) angestellt werden.

Folgende Frage wird deshalb gestellt:

Welche Untersuchungsergebnisse an ausgeführten Bauwerken zur Wirkungsweise im Montage- und Gebrauchszustand und zur Dauerbeständigkeit der Fertigteilverbindungen können zur Qualifizierung der Sicherheitsbeurteilung mitgeteilt werden?

### 3. Sicherheit und Stabilität von Bauwerken aus Betonfertigteilen

Die in den letzten Jahrzehnten mit dem Bauen von Betonfertigteilen gewonnenen Erkenntnisse erlauben die Feststellung, daß die Bauwerke aus Betonfertigteilen bei Nutzung dieser vorliegenden Erfahrungen in gleicher Weise sicher hergestellt werden können, wie Ortbetonkonstruktionen. Man hat gelernt, die Bauelemente derart zu einem Ganzen zusammenzufügen, daß die anfänglichen Befürchtungen, die "schwachen Verbindungen" könnten zu einer Stabilitätsminderung führen, die eine größere Unsicherheit hervorruft, nahezu ausgeräumt werden konnten. Für verschiedene Bauwerksarten haben sich bestimmte in der Praxis bewährte statisch-konstruktive Systeme herausgebildet, die erfahrungsgemäß eine ausreichende Sicherheit gewährleisten.

Über die mit diesen Systemen gesammelten verallgemeinerungsfähigen positiven und negativen Erfahrungen, wie sie beispielsweise für eine Auswahl in den folgenden Abschnitten angedeutet werden, soll im Rahmen dieses Unterthemas berichtet und beraten werden.

#### 3.1. Eingeschossige Gebäude

Die Hauptelemente, die den Hallenkonstruktionen die Standsicherheit gewährleisten, sind in der Regel: in Hülsenfundamente eingespannte Stützen in Verbindung mit gelenkig aufgelagerten Bindern, Dach- und Wandscheiben sowie gesondert angeordnete Portale zur Längsaussteifung insbesondere bei Kranbahnen in Industriehallen.

Die Ausbildung einer schubsteifen Dachscheibe, wie dies in einfacher Weise mit großflächigen mit den Obergurten der Binder verbundenen Dachplatten möglich ist, verleiht diesen Konstruktionen eine relativ große Stabilität. Die Einbindung der Außenwände in die Längsaussteifung ist nicht so einfach, da die von den einzelnen Wandelementen infolge Temperaturänderungen hervorgerufenen relativen Bewegungen eine starre Verbindung mit den Stützen ausschließen. Die diesen Fertigteilkonstruktionen innewohnenden Systemreserven werden zur Verfeinerung der Berechnung immer besser genutzt. Auf der Basis der Arbeit von Benkert /44/ kann nach der DDR-Vorschrift TGL O-1045 /45/ die Knicklänge von eingespannten Hallenstützen entsprechend Bild 4 um 25 % verringert werden, wenn die Dachbinder mittels Mörtelfuge  $\leq 25$  mm Dicke auf den Stützenköpfen verlegt sind.

Die Abweichung der Lagerungsbedingungen von den Annahmen der Statik hinsichtlich der Lasteintragung und der Beweglichkeit können dagegen zum Abbau der Sicherheit führen. Hierbei wirken sich vor allen Dingen Verformungen aus Temperatur, Schwinden und Kriechen negativ aus und bedingen Auflagerschäden /46/ oder Schäden an den angrenzenden Bauteilen.

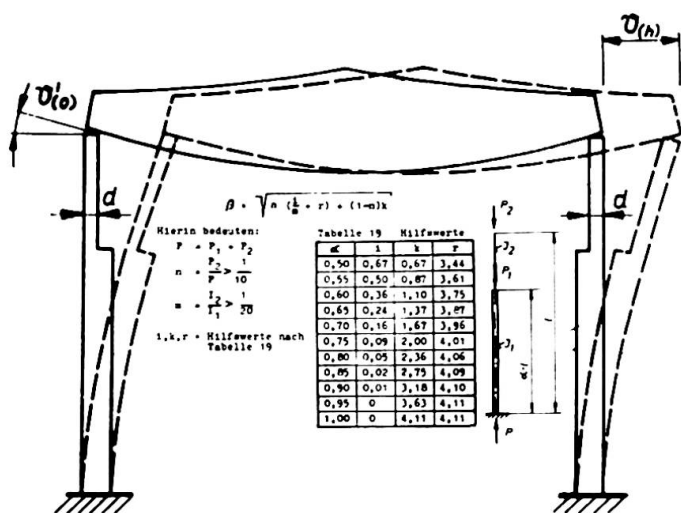


Bild 4

Ermittlung der  
 Knicklänge ein-  
 gespannter  
 Hallenstützen  
 /45/

Zur Diskussion ergeben sich folgende Probleme:

Welche Berechnungsmethoden werden zur Erfassung der Systemreserven von eingeschossigen Gebäuden benutzt ?

Können Meßergebnisse über praktische Abweichungen von definierten Lagerbedingungen und daraus abgeleitete Verallgemeinerungen zur Qualifizierung der Berechnung mitgeteilt werden ?

### 3.2. Mehrgeschossige Gebäude

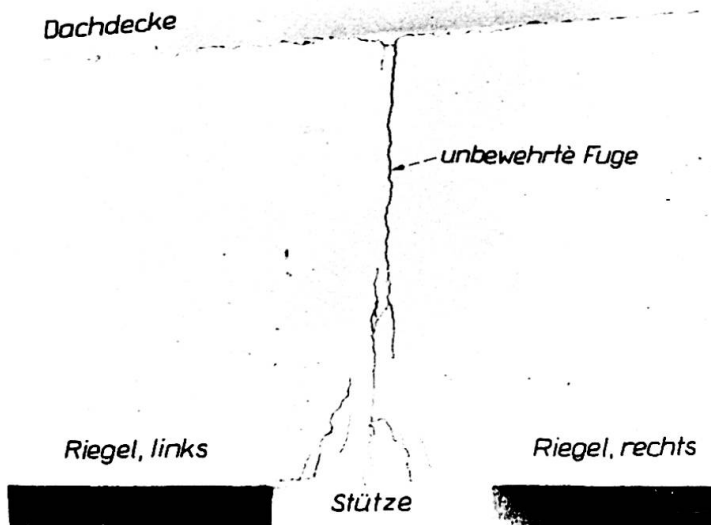
Für mehrgeschossige Gebäude aus Betonfertigteilen existieren eine große Anzahl von statisch-konstruktiven Systemen. Grundsätzlich kann in Skelett- und Wandbauweise getrennt werden je nachdem, ob die stabförmigen Stützen- und Riegelemente in Verbindung mit den Deckenplatten das tragende Gerüst bilden oder ob vertikale Wandscheiben zusammen mit horizontalen Deckenscheiben die Aussteifung und Lastabtragung übernehmen. Da sich diese beiden Bauweisen in ihrer Gestaltung der Fertigteile und ihrer Verbindungen wesentlich unterscheiden, werden sie getrennt behandelt, obwohl auch Beispiele bekannt sind, bei denen in einem Bauwerk beide Systeme gekoppelt wurden.

#### 3.2.1. Skelettbauweise

Die Ausbildung biegesteifer Knoten, wie dies im Ortbeton der Regelfall ist, führt in der Fertigteilbauweise zu großen Aufwendungen. Es wurden deshalb Systeme für die statisch-konstruktive Durchbildung gewählt, die weitgehend gelenkige Verbindungen erlauben. Als Grundprinzip hat sich die Ausbildung von steifen Wandscheiben in Quer- und Längsrichtung oder zusammengefaßt zu einem biegesteifen Kern herausgeschält. An diese meist im Inneren des Gebäudes angeordneten Aussteifungen werden die ringsherum angeordneten Bauwerksteile in Form von steifen Deckenscheiben, gelenkigen Riegeln und Stützen angebunden. Vielfach werden auch Stützen als Fertigteile über mehrere Geschosse durchgehend angeordnet. Es ist einleuchtend, daß die Stabilität und Sicherheit eines solchen mehrgeschossigen Skelettbauwerks von der zweckmäßigen Wahl des statischen Systems und der konstruktiven Durchbildung der Verbindungen entscheidend abhängt.

Schäfer /47/ hat erste Ergebnisse einer allgemeinen Schadensanalyse im Stahlbeton dargelegt. Als häufigste primäre Schadensur-

sachen wurden u.a. zu hohe Beanspruchung durch Temperatur, Schwinden und Kriechen des Betons und Bewegungsbehinderung durch unwirksame Gleitschichten und Dehnungsfugen festgestellt. Dies trifft auch auf den Fertigteilbau zu, wie dies langjährige Anwendungserfahrungen in der DDR bestätigen (Bild 5). Grundsätzlich sind die



Auswirkungen einer nicht idealen Lagerung der Fertigteile (Auflagertiefe, Verdrehungsbehinderung, Eintragung von Zugkräften, Dehnungsbehinderung) und die Auswirkungen der Schnittkräfte aus der Systemwirkung des Gebäudes zu untersuchen. Dabei ist der Anordnung der Dehnfugen unter Berücksichtigung der Starrheit der Aussteifungskerne besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Bild 5 Rißbildung am Knoten Stütze-Riegel durch Temperatur und Dehnungsbehinderung

Für den Skelettbau wird infolge des plastischen Verformungsvermögens des Stahlbetons mit steigender statischer Unbestimmtheit die Versagenswahrscheinlichkeit reduziert /48/. Im Fertigteilbau ist in der Regel die statische Unbestimmtheit durch die zweckmäßige Ausbildung von gelenkigen bzw. nur teileingespannten Verbindungen im Vergleich zum monolithischen Betonbau wesentlich geringer und damit diese Systemreserve nur bedingt nutzbar. Dem steht eine höhere Fertigungsqualität der Einzelelemente positiv entgegen. Für die Schnittkraftermittlung sind jedoch Abweichungen von den Idealisierungen des statischen Systems, z.B. außerplanmäßige Abweichungen der Stützen von der Systemlinie /49/, teilweise Einspannung der Stützen u.a. zu berücksichtigen.

Zur Diskussion werden damit folgende Fragen aufgeworfen:

Mit welchen sicherheitstheoretischen Methoden werden Abweichungen vom zugrunde gelegten idealisierten statischen System im Fertigteilbau erfaßt ?

Welche Erfahrungen liegen hinsichtlich der Erfassung der Wirkungen von Schwinden und Kriechen sowie Temperaturänderungen im Fertigteilbau vor ?

### 3.2.2. Wandbauweise

Die hauptsächlich für den industriellen Wohnungsbau entwickelte Wandbauweise, anfänglich für 5-geschossige Gebäude entwickelt, wird heute für Gebäude mit über 20 Geschossen angewendet (Bild 6).

Die aussteifenden Quer- und Längswände verleihen diesen Bauwerken in Verbindung mit den Deckenscheiben eine relativ große Stabilität, wenn die Verbindungen der einzelnen Wand- und Deckenelemente miteinander und untereinander ausreichend sicher konstruiert und ausgeführt werden.



Bild 6 Wohnhochhaus mit 24  
Geschossen in Platten-  
bauweise /50/

Der Massencharakter dieser Gebäudekategorie hat dazu geführt, die Berechnung ständig zu verfeinern, um bei ausreichender Sicherheit geringsten Materialeinsatz für die tragenden und aussteifenden großflächigen Betonfertigteile zu ermöglichen. So ist deutlich der Trend erkennbar, die räumliche Tragwirkung dieser Zellengebilde der statischen Untersuchung zugrunde zu legen. Bekannt sind die Berechnungen mit dem Ersatzsystem nach Rosmann /51/, die Methode mit äquivalenten Rahmen oder Stabsystemen /52/ und neuerdings die Anwendung der finiten Elemente /53/. Die Genauigkeit dieser Berechnungsmethoden, d.h. wie wirklichkeitsnah die danach ermittelten Schnittkräfte und Verformungen sind, wird entscheidend von den getroffenen Annahmen über die Wirkungsweise der Fugen bestimmt. Ein besonderes Problem ist hierbei die Vertikalscheibenausbildung und -wirkungsweise. Die

Ausbildung von profilierten Vertikalfugen gestattet die Betrachtung der Wandscheibe als monolithisches Bauteil, während bei glatter Fuge jeder Einzelstreifen nur für sich wirkt. Hierzu wurden zahlreiche Versuche und theoretische Untersuchungen durchgeführt, u.a. /54//55/ /56/ /35/ /36/. Für die Einbeziehung der nichtlinearen Einflüsse, die bei diesen räumlichen Faltwerken erst zur Beschreibung der wirklichen Verhältnisse führen, sind noch weitere Grundlagen über die plastischen Verformungen, das Reißverhalten und die Interaktionsbeziehungen zwischen Schub- und Normalkräften in den Fugen bereitzustellen.

Daraus folgt die Fragestellung:

Mit welchen Berechnungsmethoden auf der Basis welcher experimenteller Ergebnisse wird der wirkliche Spannungs-, Verformungs- und Bruchzustand des aus Decken- und Wandelementen mit Durchbrüchen zusammengefügtten Bauwerkes als Grundlage der Sicherheitsbetrachtung mit der größten Annäherung ermittelt ?

Wieweit stehen Grundlagen bereit, um eine umfassende Berechnung dieser Raumzellengebäude nach der nichtlinearen Theorie mit Erfolg durchführen zu können ?

Für die praktische Berechnung der Plattenbausysteme wurden in den einzelnen Ländern spezielle Vorschriften aufgestellt u.a./57/ /58/ /59/, die neben gesicherten Annahmen für die Berechnung auch konstruktive Maßnahmen zur Sicherung einer großen Dauerbeständigkeit umfassen. Das Europäische Betonkomitee -CEB- hat gleichfalls erste Empfehlungen für Großtafelbauten erarbeitet /60/ /61/. Das Einsturzungsglück am Ronan Point, einem 22-stöckigen Plattenbau, in London 1968 infolge einer Gasexplosion hat die Frage der Kettenreaktion bei Ausfall eines Baugliedes als spezielle Fragestellung der Sicherheit und Stabilität aufgeworfen und zu einer Reihe von Änderungen der nationalen Vorschriften geführt, die Manleitner /59/ andeutet. Grundsätzlich besteht Übereinstimmung, daß eine fort-

schreitende Zerstörung durch Bruch eines Wandelementes möglichst auszuschließen bzw. ihre Auswirkung klein zu halten ist.

Hieraus ergibt sich die Frage:

Ist im rechnerischen Standsicherheitsnachweis generell der Ausfall einer oder mehrerer Wandplatten zu berücksichtigen oder reichen gegebenenfalls experimentell erprobte konstruktive Maßnahmen (z.B. Anordnung von Verbindungsbewehrungen) zur Vermeidung von Kettenreaktionen aus ?

### 3.3. Brücken

Für Brückenbauwerke aus Stahl- und Spannbetonfertigteilen sind folgende zwei Ausführungen typisch

- Balken über die gesamte Stützweite, die nebeneinanderliegend die Brückenbreite bilden und
- einzelne Querschnittssektionen, die im freien Vorbau oder in selteneren Fällen auf Hilfsrüstungen aneinandergespannt die Brückenlänge ergeben.

Brücken, die mittels ein Feld überspannender Fertigteilträger ausgeführt werden, bedürfen eines sorgfältigen Nachweises hinsichtlich der Querverteilung der Lasten und ihrer Wirkungen /62/. Häufig wird deshalb eine Ort betonplatte, die gleichzeitig als Fahrbahnplatte dient, ausgeführt /63/ /64/ bzw. werden die einzelnen Balken durch Quervorspannung, insbesondere für Eisenbahnbrücken, zusammengefügt /65/ oder die Querverteilung erfolgt nur durch spezielle Längsfugenausbildungen /66/. Die dynamischen Verkehrslasten und die klimatischen Umwelteinflüsse, die bei einem Brückenbauwerk nahezu auf alle Tragglieder direkt einwirken, erfordern zur Aufrechterhaltung der Sicherheit und Stabilität eine dauerbeständige Verbindung der Fertigteile. Mit der Wirkungsweise verschiedener Fugenausbildungen bei Anwendung von Quervorspannung und ohne Quervorspannung für Balkenreihenbrücken bei statischer und dynamischer Belastung hat sich Spaethe /66/ experimentell auseinandergesetzt. Neben konstruktiven allgemeingültigen Schlußfolgerungen stellt Spaethe fest, daß ein zuverlässiger Nachweis der Tragfähigkeit infolge der komplizierten Spannungsverhältnisse nur experimentell möglich ist. Bei ausreichend erprobten Verbindungslosungen im Fertigteilbrückenbau gibt es, wenn man von den im Abschnitt 2 behandelten Problemen absieht, keine anderen Sicherheits- und Stabilitätsprobleme, als bei ganz aus Ort beton hergestellten Brücken.

Es wird deshalb folgende Frage gestellt:

Können positive und negative Erfahrungen über die Dauerbeständigkeit des die Lastverteilung in Querrichtung sichernden Verbundes der Fertigteilträger angegeben werden ?

Für Brücken, die mittels Querschnittssektionen im Freivorbau oder auf Hilfsrüstungen hergestellt werden, werfen die Fugen zwischen diesen Fertigteilsektionen eine zusätzliche Frage zur Sicherheit in Ergänzung der allgemeinen Sicherheits- und Stabilitätsbetrachtungen monolithisch ausgeführter Brücken auf. Über die Ausbildung dieser Querfugen sind u.a. in /67/ /68/ /69/ Ausführungen enthalten. Es stellt sich nach jahrelangem praktischen Einsatz die Frage, ob sich die Annahmen über die dauerbeständige Wirkung dieser Querfugen in Brücken voll bestätigt haben.

Es wird deshalb gefragt:

Können Untersuchungsergebnisse mitgeteilt werden über die Dauerbeständigkeit der Wirkung von Querfugen zwischen solche Brückenfertigteilen, die als Querschnittssektionen montiert wurden.



### 3.4. Sonstige Bauwerke

Die Fertigteilbauweise kommt weiter im Wasserbau /70/, im Tiefbau, bei Sportbauten /71/ /72/ und bei vielen anderen Bauaufgaben häufig zur Anwendung. Jede dieser Fertigteilkonstruktionen hat spezifische Sicherheits- und Stabilitätsbedingungen zu erfüllen. Es werden deshalb Beiträge erwartet, die verallgemeinerungswürdige Erfahrungen über die Sicherheits- und Stabilitätsprobleme solcher Fertigteilbauwerke mitteilen.

#### Literaturverzeichnis

- / 1/ Vor- und Schlußbericht zum VIII. Kongreß der IVBH New York 1968. Zürich: Sekretariat der IVBH.
- / 2/ Vor- und Schlußbericht zum Symposium "Über neue Aspekte der Tragwerksicherheit und ihre Berücksichtigung in der Bemessung". London 1969. Zürich: Sekretariat der IVBH
- / 3/ Einführungs-, Vor- und Schlußbericht zum Symposium "Bemessung und Sicherheit von Stahlbeton-Druckgliedern". Québec 1974. Zürich: Sekretariat der IVBH.
- / 4/ Schneider, J.: Grundsätzliches zum Sicherheitsbegriff sowie Elemente einer Sicherheitsnorm für Tragwerke. Bericht Nr. 51. Basel/Stuttgart: Birkhäuser-Verlag 1974.
- / 5/ Internationaler Standard ISO 2394 General principles for the verification of the safety of structures. First edition 1973.02.15. Genf 1973
- / 6/ ASMW-Vorschrift Warenprüfung 1184/01-/06 Qualitätssicherung in der Betonfertigteilindustrie. Ausg. Juni 1974. Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung, Berlin
- / 7/ Wahl, G.: Probleme der Qualitätskontrolle konstruktiver Betonzeugnisse. Baustoffindustrie. Reihe B, Berlin (1972) 4
- / 8/ DIN 1084 Güteüberwachung im Beton- und Stahlbetonbau. Ausg. 1973. Beuth-Vertrieb, Berlin (W)/Köln/Frankfurt(M)
- / 9/ Grimm, G.: Die Güteüberwachung im Betonwerk. Betonwerk u. Fertigteiltechnik, Wiesbaden (1973) 11
- /10/ DAMW-Vorschrift Warenprüfung 968 Nachweis der Druckfestigkeit bei Beton. Ausg. 1969 Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung, Berlin
- /11/ Neumann, H.: Auswertung sowjetischer Literatur über die Anwendung von Kontrollständen zur Qualitätsüberwachung von Stahlbetonfertigteilen. Baustoffindustrie, Ausg. B, Berlin (1972) 3.
- /12/ TGL O-4227 Spannbeton; Berechnung und Ausführung. Ausg. 1964. Staatsverlag der DDR, Berlin.
- /13/ Richtlinien für Bemessung und Ausführung von Spannbetonbauteilen -Fassung Juni 1973- unter Berücksichtigung von DIN 1045, Ausg. Jan. 1972, als vorläufiger Ersatz von DIN 4227, Ausg. 1953. in: Betonkalender 1974. Berlin(W): Ernst & Sohn 1974.
- /14/ SNiP II-C.1-62 Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen; Projektierungsnormen (russ.) Ausg. 1962. Strojizdat, Moskva.
- /15/ ACI-Standard 318-71 Building Code Requirements for Reinforced Concrete. Hrsg.: American Concrete Institute, Detroit 1971.
- /16/ TGL 24777 Tragösen für Fertigteile aus bewehrtem und unbewehrtem Beton. Ausg. 1971. Staatsverlag der DDR, Berlin.
- /17/ Rafla, K.: Hilfsdiagramme zur Vereinfachung der Kippuntersuchung von Stahlbetonbalken Beton- u. Stahlbetonbau, Berlin(W) (1973) 2.
- /18/ Rafla, K.: Vereinfachter Kippsicherheitsnachweis profilierter Stahlbetonbinder Bautechnik, Berlin(W) (1973) 5.
- /19/ Mehlhorn, G.: Näherungsverfahren zur Abschätzung der Kippstabilität vorgespannter Träger. Beton- u. Stahlbetonbau, Berlin(W) (1974) 1.
- /20/ Stiglat, K.: Näherungsberechnung der kritischen Kipplasten von Stahlbetonbalken. Bautechnik, Berlin(W) (1971) 3.
- /21/ Unger, H.: Zum Nachweis von Spannbetonträgern beim Befördern. in: Beitr. zur Arbeitstagung "Sicherheit von Betonbauten". Hrsg.: Deutscher Betonverein E.V., Wiesbaden: Eigenverl. 1973.
- /22/ Beck, H.; Schack, R.: Bauen mit Beton- und Stahlbetonfertigteilen. in: Betonkalender 1972. Berlin(W): Ernst & Sohn 1972.
- /23/ Graße, W.: Vorspannen des Obergurtes weitgespannter Träger zur Kippsicherung bei der Montage. Bauplanung-Bautechnik, Berlin (1968) 3.
- /24/ Rühle, H. u.a.: Faltwerkdach für eine Tunnelofenhalle aus vorgefertigten, zusammengespannten Stahlbetonelementen. Bauplanung-Bautechnik, Berlin (1963) 3.
- /25/ Ledderboge, H.; Danilow, N.N.: Montage von Beton- und Stahlbetonfertigteilen. Berlin: Verlag für Bauwesen 1964.
- /26/ Tkačev, S.M.; Semenova, T.M.: Verminderung der dynamischen Einwirkung von Straßenebenenheiten auf Stahlbetonkonstruktionen bei Straßentransport (russ.). Izv. vuzov, Stroit. i arch., Novosibirsk (1974) 6.
- /27/ Sandhagen, H.: Entwicklung und Erprobung einer Transporteinheit für Spannbetonbinder bis 24 m Länge. Bauplanung-Bautechnik, Berlin (1971) 6

- /28/ Tümler, D.: Sicherheit im Montagezustand bei Bauten aus Spannbeton- und Stahlbetonfertigteilen. in: Beitr. zur Arbeitstagung "Sicherheit von Betonbauten". Hrsg.: Deutscher Betonverein E.V., Wiesbaden: Eigenverl. 1973
- /29/ DIN 1045 Beton- und Stahlbetonbau; Bemessung und Ausführung. Ausg. Jan. 1972. Beuth-Vertrieb, Berlin(W)/Köln/Frankfurt(M).
- /30/ CEB/FIP Internationale Richtlinie zur Berechnung und Ausführung von Betonbauwerken. London: CCA 1970.
- /31/ Rehm, G.; Martin, H.: Biegeefeste Verbindung von Stahlbetonfertigteilen. Betonstein-Zeitung, Wiesbaden (1970) 7
- /32/ Utescher, G.: Der Tragsicherheitsnachweis für dreischichtige Außenwandplatten aus Stahlbeton. Bautechnik, Berlin(W) (1973) 5
- /33/ Utescher, G.: Tragfähigkeitsnachweis von Fassadenverankerungen. Element u. Fertigbau, München (1973) 2.
- /34/ Pume, D.: Der Spannungszustand und die Tragfähigkeit der Verbindungen von vollen Wand- und Deckenelementen. Bautechnik, Berlin (W) (1970) 12.
- /35/ Pommeret, M.: La résistance aux efforts tangents des joints verticaux entre grand panneaux préfabriqués coplanaires. 3. Rumänische Betonkonferenz Cluj 1970.
- /36/ Fouré, B.: Joints verticaux résistant aux efforts tangents entre grands panneaux perpendiculaires. 3. Rumänische Betonkonferenz Cluj 1970.
- /37/ Cholmjansky, M.M. u.a.: Typisierung der Einlegeteile von Stahlbetonfertigteilen für Großplattenwohngebäude (russ.). Beton i Zelezobeton, Moskva (1964) 4.
- /38/ TGL 112-0792 Stahlbetonstützen-Verbindung; Steckstoß. Ausg. 1965. Staatsverlag der DDR, Berlin.
- /39/ Manleitner, S.: Bauaufsichtliche Gesichtspunkte zur Verankerung von Fassadenelementen. Element u. Fertigbau, München (1973) 2.
- /40/ o.V.: Versuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit von Dachplattenfugen. Unveröffentl. Institut für Leichtbau, Dresden. 1967.
- /41/ Bartel, W.: Pfettenlose Verbunddächer. Berlin: Bauinformation 1974. (Schriftenr. Bauforsch., R. Industriebau, H. 33)
- /42/ Beck, F.; Seghezzi, H.D.: Sicherheit von Dübelbefestigungen im Betonbau. in: Beitr. zur Arbeitstagung "Sicherheit von Betonbauten". Hrsg.: Deutscher Betonverein E.V., Wiesbaden: Eigenverl. 1973.
- /43/ Struck, W.: Zur Frage der Sicherheit bei der Beurteilung von Bauteilen nach Versuchsergebnissen. Bautechnik, Berlin(W) (1971) 6.
- /44/ Benkert, H.-H.: Knicklängenbeiwerte von Hallenstützen aus Stahlbeton. Bauplanung-Bautechnik, Berlin (1970) 12.
- /45/ TGL O-1045 Bauwerke aus Stahlbeton; Projektierung und Ausführung. Ausg. 1972. Staatsverlag der DDR, Berlin.
- /46/ Radebach, A.; Graser, E.: Auflagerschäden an Zwischendeckenbalken. Bauplanung-Bautechnik, Berlin (1971) 8.
- /47/ Schäfer, H.: Versagensursachen und Folgerungen für die Sicherheitstheorie. in: Beitr. zur Arbeitstagung "Sicherheit von Betonbauten". Hrsg.: Deutscher Betonverein E.V., Wiesbaden: Eigenverl. 1973.
- /48/ Tichý, M.; Rákosník, J.: Kräfteumlagerung in Stahlbetontragwerken. Berlin: Verlag für Bauwesen 1973.
- /49/ Birkeland, P.W.; Westhoff, L.: Dimensional Tolerances in a Tall Concrete Building. ACI-Journal, Detroit (1971) 8.
- /50/ Mehlan, H.: Der Leninplatz in Berlin. Deutsche Architektur, Berlin (1971) 6.
- /51/ Rösman, R.: Statik und Dynamik der Scheibensysteme des Hochbaus. Berlin: Springer 1968.
- /52/ Goschy, B.: Räumliche Stabilität von Großtafelbauten. Bautechnik, Berlin(W) (1970) 12
- /53/ Schwing, H.; Mehlhorn, G.: Zum Tragverhalten von Wänden aus Fertigteiltafeln. Betonwerk u. Fertigteiltechnik, Wiesbaden (1974) 5.
- /54/ Schwing, H.: Sicherheitsprobleme bei Fertigteiltscheiben, die zur Aussteifung von Gebäuden herangezogen werden. in: Beitr. zur Arbeitstagung "Sicherheit von Betonbauten". Hrsg.: Deutscher Betonverein E.V., Wiesbaden: Eigenverl. 1973
- /55/ Beck, H. u.a.: Zusammenwirken von einzelnen Fertigteilen als großflächige Scheibe. Berlin(W): Ernst & Sohn 1973.
- /56/ Pume, D.: Scherfestigkeit senkrechter Stöße zwischen Betonwandelementen. Bauplanung-Bautechnik, Berlin (1967) 5.
- /57/ GOST 11309-65 In Großplattenbauweise errichtete Wohnhäuser (russ.). Ausg. 1965. Izd. stand., Moskva.  
SNIP II-L.1-71 Wohngebäude. Projektierungsnormen (russ.). Ausg. 1971. Strojizdat, Moskva.
- /58/ Hirschfelder, G.; Habig, H.: Bauweisen im komplexen Wohnungsbau. Bauten in Wandkonstruktionen. Berlin: Bauinformation 1968. (Schriftenr. Bauforsch., R. Hochbau, H.1) Nachtrag Nr. 1 Bauinformation, Berlin (1970) 6.
- /59/ Manleitner, S.: Richtlinien und Bestimmungen der neuen DIN 1045 für Großtafelbauten. Bauwirtschaft, Wiesbaden (1973) 10.
- /60/ CEB Recommendations Internationales Unifiées pour le Calcul et l'Exécution des Structures en Panneaux Assemblés de Grand Format. 1ère Edition. Hrsg.: AITEC. Rome: 1969
- /61/ Stiller, M.: CEB-Empfehlungen für Großtafelbauten. Beton- und Stahlbetonbau, Berlin(W) (1968) 6
- /62/ Spaethe, G.: Theorie elastischer Balkenreihen. Hrsg.: Sekretariat der IVBH. Zürich: o.J. (Abhandlungen, Band 28/I)
- /63/ Vek, J.; Kreibich, R.: Technische und technologische Entwicklung beim Autobahneubau in der CSSR. Die Straße, Berlin (1974) 6.
- /64/ Pust, G.J.; Schuldt, O.: Betonverbundbrücken - eine neue Lösung für Fertigteilüberbauten. Die Straße, Berlin (1974) 4.
- /65/ Höptner, M.; Hofmann, Ch.: Spannbeton im Eisenbahnbrückenbau der DDR. Bauplanung-Bautechnik, Berlin (1974) 3.

- /66/ Spaethe, G.: Versuche an Verbindungen für Fertigteilbrücken aus Balkenreihen. Die Straße, Berlin (1971) 11
- /67/ o.V.: Reconstruction du pont de Choisy-le Roi. Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics, Paris (1964) 204.
- /68/ Pschenitschnikov, u.A.: Untersuchungen im Freivorbau montierter Stahlbetonbrückenbauten mit trockenen Stößen (russ.). Avtomobil'nye dorogi, Moskva (1964) 10.
- /69/ Chaudessiques, J.: Evolution de la technique de construction des ponts en encorbellement en France. Travaux, Paris (1969) 1.
- /70/ Wölfel, W.: Stahlbetonfertigteile im Grund- und Wasserbau. Bd. 1 u. 2. Berlin: Verlag für Bauwesen 1965/66.
- /71/ Koncz, T.: Handbuch der Fertigteilbauweise. Bd. 2., Wiesbaden: Bauverlag 1967.
- /72/ Rühle, H.: Räumliche Dachtragwerke – Konstruktion und Ausführung. Bd. 1. Berlin: Verlag für Bauwesen 1969.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Betonfertigteil-Bauweise kommt im Zuge der fortschreitenden Industrialisierung des Bauwesens heute für nahezu alle Gebiete der Baukonstruktionen zum Einsatz. Ihre spezifischen Sicherheits- und Stabilitätsprobleme besitzen deshalb grosse Bedeutung. In den vorstehenden Ausführungen werden die für Elemente bei der Herstellung, während des Transportes und bei der Montage auftretenden besonderen Probleme der Sicherheit und Stabilität durch vorwiegend praktisch orientierte Fragestellungen herausgestellt. Gleiches erfolgt auch für ausgewählte Gruppen fertiggestellter Bauwerke aus Betonfertigteilen.

#### SUMMARY

The construction of prefabricated concrete elements is applied for nearly all spheres of civil engineering, following the industrialisation in construction. Therefore their specific problems of safety and stability are very important. In the present paper the problems of safety and stability arising on the fabrication of the elements, on the transport and assembly are put up mainly with practical considerations. The same problems are underlined for selected groups of structures completed with prefabricated elements.

#### RESUME

La construction par éléments préfabriqués en béton est employée dans presque tous les domaines du génie civil, par suite de l'industrialisation poussée de la construction; les problèmes de sécurité et de stabilité qui en découlent, prennent de plus en plus d'importance. Les problèmes particuliers de la sécurité et de la stabilité sont mis en évidence par des questions d'ordre pratique relatives à la fabrication des éléments, leur transport et leur montage. Ces mêmes problèmes sont posés pour des ensembles choisis de constructions en éléments préfabriqués.

## Vib

### Developments in Manufacture and Assembly

Développements dans la production et l'assemblage

Entwicklungen in Herstellung und Montage

M. KOKUBU

Professor, Musashi Institute of Technology

Professor Emeritus, University of Tokyo

Tokyo, Japan

### 1. Introduction

In construction of concrete structures of recent, there have been strong demands expressed for shortening of construction periods, saving of labor, and economization. There have also begun to be heard loud clamors for alleviation of public nuisances accompanying construction work such as environmental pollution, noise and obstruction of traffic flow. Minimizing work requiring cast-in-place concrete and effectively utilizing precast concrete elements instead may be cited as an excellent method of complying with these demands. Furthermore, through effective application of precast elements, there will be many cases when other advantages may be gained such as not only construction in cold weather being made easier, but also safety and durability of structural members being improved since concrete of high reliability will come to be used.

Consequently, there has been much research done from the past in countries throughout the world in regard to manufacture of precast concrete elements used in construction of precast structures and methods of assembly using elements, and these have been discussed at a number of international conferences (1)(2)(3)(4)(5)(6)(7).

This paper summarizes the developments seen in manufacture of precast concrete elements and methods of assembly using elements, and discusses the problems involved as well.

### 2. Developments in Manufacture of Precast Concrete Elements

The conditions required of concrete elements to be used for precast concrete structures may be listed as being (1) accurances within specified limits of shapes, dimensions, and arrangements of reinforcement and jointing steel, (2) concrete possessing the required quality, (3) weights, shapes and dimensions suitable for transport, and (4) economy. These conditions will of course be of varying degree depending on the object for which the concrete elements are to be used.

Of the conditions mentioned above, the condition of (1) is highly important, and since it governs the success of a precast concrete structure, strict limitations on permissible errors are provided in product standards and construction specifications in all countries.

### 2.1. Improvements in manufacturing facilities for concrete elements

All new manufacturing plants for mass-produced concrete elements indicate that efforts have been made for improvements in facilities for concrete elements, such as for handling and storing aggregates and other materials, for batching and mixing, for fabricating and placing steel, for placing and consolidating concrete, for curing, and for conveyance inside and outside the plant of semi-finished and finished products during and after manufacture. Of the various facilities, the major ones are discussed below.

Among materials for concrete, aggregates require the most careful consideration in handling, and needless to say, it is important for measures to be provided in order to maintain gradations and moisture contents uniform. There are cases of good results being obtained at large-scale precast concrete plants where aggregates are suitably sieved and classified into several fractions according to particle size, with each fraction stored in an individual silo. It is of advantage to do so since it will become unnecessary to add devices to batching equipment for correcting batched quantities of water and aggregates in accordance with variations in surface moisture, while adjustments in concrete mix proportions accompanying variations in aggregate gradation can be almost completely eliminated.

When selecting mix proportions for concrete, it is a basic principle to make the unit water content as low as possible within the limits of obtaining workability suitable for placement, and since it is normal for considerably high-grade placing and consolidating equipment to be available in case of a plant manufacturing precast elements, concretes of dry consistencies having especially low unit water contents are commonly used. For this reason, pan type mixers with mixing blades which revolve inside pans are employed in many cases as mixing efficiencies are improved and mixing times are shortened, while quick discharge of concrete is possible. In particular, mixing efficiencies are good for models with planetary movement of blades.

Equipment for fabrication and placing of steel as well as forms differ greatly according to the kind of concrete element and it can be seen that much attention has been paid to each. At plants manufacturing large quantities of prestressed concrete elements there are many cases where pre-tensioning systems using long-line prestressing beds are employed. Many of these plants have facilities capable of providing curvatures to prestressing tendons as required. Further, the long-line system is also suited to manufacture of long prestressed concrete elements. Prestressed concrete piles of lengths of 60 meters and prestressed concrete girders of lengths of 40 meters or more are being manufactured by this method. Sliding forms are sometimes used in such operations. In case of piles, the hollow parts are formed by using inflated rubber tubes or sliding mandrels and there are cases of these mandrels being equipped with heating units to accelerate hardening of concrete.

When manufacturing prestressed concrete piles and poles by the pre-tensioning system, there are cases when the reactions accompanying prestressing are made to be carried by the forms.

With columns, girders, slabs, railway sleepers, various types of block, piles, etc., there are cases when all or part of a form is immediately removed after thorough consolidation of concrete of dry consistency. This is a rational system for surface finishing and curing also, and is adopted when conveying to the curing apparatus will not be a problem.

A considerable amount of manual work is generally required when assembly and arrangement of steel used for a concrete element are complex, and many kinds of automatic apparatus have been devised at various large plants to save on the labor cost involved. For example, treatment and fabrication of steel, assembly of spiral reinforcement to be used for piles, pipes and poles, and assembly of reinforcing bars for slabs and wall panels have been automated.

It goes without saying that it is extremely important to have powerful consolidation apparatus capable of thorough compaction in a short period of time when concrete of dry consistency is used. Consequently, precast concrete element manufacturing plants utilize various kinds of consolidation equipment each suited to a certain type of product. The various consolidation apparatus, when classified by principle, would be internal vibration type, external vibration type, vibration table type, tamping type, compression type, roller type and centrifugal type. The internal vibration type is used most widely with frequencies of vibration generally being in the range of 80 to 130 cycles per second. However, since consolidation capability is increased the higher the number of cycles, there are cases when vibrators with frequencies of around 250 cycles per second are used. Tamping types are often used for products like concrete block, roller types for large-diameter pipe, and very widely, centrifugal types for piles, poles and pipes.

When using external vibration types, vibration table types, centrifugal types, etc., there are cases in which good results are not obtained unless consolidation is carried out after first performing preliminary consolidation at low frequency or low speed.

When concrete of dry consistency is to be placed in elements of comparatively narrow cross section or in elements with arrangements of reinforcement which are not simple, there are cases when good results are obtained if the abovementioned methods are used in suitable combinations. For example, in case of placing concrete for pipes and large-diameter poles using vertical-type forms, it would be suitable for application of pressure and external vibration to be used in combination, while the combined use of external vibration would be effective in compression consolidation of sheet piles and slabs. This is because there is a tendency for the transmission of pressure to be hindered by interlocking of aggregate particles when only compression is used. Sometimes, extremely dry concrete of slump of zero is placed in slabs and girders and consolidation is performed using vibro-stampers which combine tamping and vibrating actions. And, to cause concrete of dry consistency to completely fill complex cross sections, there are cases when a special type of concrete placement apparatus equipped with external vibrators is used. This apparatus first applies vibrations to the concrete to make it fluid and then extrudes it into the form by pressure.

The system of transferring prestress in case of manufacturing pre-tensioned prestressed concrete beams, hollow floor panels and other elements by passing electric current through high-tensile steel to heat and expand the steel, fixing the steel to the two ends of a form or to jaws installed in a prestressing bed, and causing the form ends or jaws to bear the reaction accompanying cooling of the steel is used in the Soviet Union, Czechoslovakia and elsewhere<sup>(7)</sup>.

Other than the facilities discussed above, those for curing are also of importance, but since they have a particularly close relationship with concrete quality, they will be discussed in 2.2., "Improvement of concrete quality."

Uniformities of elements are improved and reliabilities increased through advances in manufacturing processes of precast elements at plants, especially automation, but that is not all — labor is saved to bring about economy and the merit of improving plant facilities lies in this effect. For example, at a certain prestressed concrete pile plant in Japan whose production capacity is as much as 480,000 metric tons per year, aggregates were recently separated into fractions while various facilities were automated as much as possible. As a consequence, the results of concrete control tests on specimens which were centrifugally consolidated and high-pressure steam-cured in the same manner as elements were as are shown in Fig. 1. The coefficient of variation of concrete strength during a period of a single month was only 3 percent indicating that the concrete was being controlled in an excellent manner. As for the operating cost after the facilities had been renovated, it is given in Table 1 and is lower than the cost in the past which had included a considerable amount for manual work. Naturally, the investment on the beforementioned apparatus was enormous — as much as 11,900,000 dollars — but the difference with the investment for the old plant can be recovered in about two years, and the benefit of automation can be clearly recognized. This may be only a single example, but it does serve to suggest that new capital investment in accordance with the scale of each plant will lead to economization.

Table 1. Comparison of Prestressed Concrete Pile Manufacturing Costs of New and Old Plants (Manufacturing Costs per Ton of Product)

Manufacturing Cost	New Plant	Old Plant
Principal materials	\$24.22	\$24.22
Auxiliary materials (fuel, supplies, other)	3.32	3.22
Labor	3.17	6.83
Electric power, repairs, other expenses	1.92	1.74
Depreciation	2.97	2.55
Total	35.60	38.56

Fig. 1 — Example of quality control test of concrete (for month of September, number of days operated, 21).

Elements used in various kinds of precast structures are not necessarily mass-produced articles which are sold in the market. In such case it would be difficult to install superior machinery and equipment as previously described, but it is thought necessary at least for concrete manufacturing facilities to be fully equipped for securing the required uniformity. Since it will be possible to assume smaller influence of strength variation and lower reduction coefficients when using precast elements made with such concrete, design strength will be improved to offer an advantage to the designer.

## 2.2. Improvement of concrete quality

### 2.2.1. Improvement of concrete strength

The design strength of a concrete element will differ depending on the purpose for which the element is to be used, and although cases of about 200 to 350 kilograms per square centimeter are greatest in number, there are also cases of about 400 kilograms per square centimeter, and recently, there have even been elements with high strengths of 800 kilograms per square centimeter or more which have come into practical use.

Increasing concrete strength markedly above present levels has been called for to a maximum degree in concrete engineering circles and this has been studied from the past by an extremely large number of researchers. According to the reports of these researchers, compressive strengths of 1,000 to 1,500 kilograms per square centimeter have been obtained, but most of these strengths were gained with small specimens of cement pastes and there have been very few studies which have progressed to the extent of practical use in concrete.

Yoshida reported in 1940 that compressive strength of 700 kilograms per square centimeter was obtained at the age of 6 hours and 1,040 kilograms per square centimeter at 28 days<sup>(8)</sup>. This was achieved using strong, hard aggregates and ordinary portland cement to make concrete of dry consistency and filling it in cylinder molds of 15-centimeter diameter. Pressure of 100 kilograms per square centimeter was applied to squeeze out excess water and air, and the concrete which had then become of water-cement ratio of about 0.23 was cured for three hours immersed in boiling water while still under pressure. This technology was first put into practical use in part of the shield segments for the Kanmon Undersea Railway Tunnel (completed in 1942) of Japan, while recently, it is being widely utilized in manufacture of reinforced concrete segments for subway projects in urban areas of the country and of concrete sheet piles. In case of products being sold on the market, compressive strengths of around 400 kilograms per square centimeter at the age of 5 hours and 750 kilograms per square centimeter at the age of 28 days are being obtained by steam-curing under pressure after pressurizing for 6 to 8 minutes at 8 to 10 kilograms per square centimeter while employing simultaneous external vibration.

Roy and Gouda have reported that compressive strength of 6,700 kilograms per square centimeter and tensile strength of 650 kilograms per square centimeter were obtained with cement paste at the age of 28 days on application of pressure of 3,500 kilograms per square centimeter while maintaining the paste at a temperature of 250°C<sup>(9)</sup>. The water-cement ratio was 0.09 with the minimum value of paste porosity a mere 1.8 percent. The paste consisted of the outer sides of extremely compacted unhydrated cement particle groups surrounded by dense cement gel. In any case, such high strengths are very much worthy of attention.



Short-term strengths also comprise an important factor of concrete elements for shortening periods of time required for stripping forms, for transferring prestress, and for making possible handling, conveying and assembling at an early time. With elements which are mass-produced, there is a strong tendency for rise in strength over the long term to be sacrificed and increase in short-term strength to be aimed for.

As means of increasing short-term strengths of concrete elements, use of high early-strength cement, use of admixtures, reduction in water-cement ratio, utilization of high-performance consolidation apparatus, atmospheric-pressure steam curing, high-pressure steam curing, etc. are conceivable. However, since most manufacturing plants already have accelerated curing facilities, ultra-rapid-hardening cements and set-regulated cements are not used very much from the standpoint of running costs. A method of heating concrete during mixing to 65 to 75°C using a special type of mixer which is heated with steam has been adopted in some cases<sup>(10)</sup>. Such concrete is said to attain approximately 60 percent of 28-day compressive strength at the age of three hours. In attempting to gain strengths as intended by this method, there are such drawbacks as the difficulty of controlling temperature and the necessity of placing concrete within 10 minutes after finishing mixing. However, in case of continuing with steam curing, there is no trouble even if the temperature were to fall to about 50 to 40°C, and for the reasons that the time for surface finishing is shortened and labor costs are saved, this method is being used to a considerable extent.

In regard to utilization of various admixtures, the development of the technique of economically producing extremely high-strength concrete through large-quantity use of high-performance water-reducing agents may be cited as being especially noteworthy. Such water-reducing agents are mainly constituted of polyaromatic sulfonates and all of them cause hardly any air to be entrained, while retarding effects are comparatively minor. When these water-reducing admixtures are added at rates of about double the standard quantities and concrete is mixed, prominent water-reducing effects are demonstrated and unit water content of concrete can be reduced by approximately 30 percent.

This type of technology was developed in manufacture of prestressed concrete piles with the purposes of increasing resistance through high strength and eliminating damage accompanying driving of piles. Compressive strengths higher than 900 kilograms per square centimeter have been attained using combined atmospheric-pressure and high-pressure steam curing on hollow piles which had been made with concrete using large quantities of water-reducing agent thoroughly compacted by applying high-speed revolutions at centrifugal acceleration of approximately 30g<sup>(11)</sup>. In case of using good-quality aggregates, it is easy for strength at one day to be raised to around 1,300 kilograms per square centimeter. Approximately 2,200,000 tons of this type of concrete pile were manufactured at numerous plants in Japan in 1973 and were used in various construction projects. This technology has begun to be utilized not only for prestressed concrete piles, but also in manufacture of other types of precast elements such as members of trusses, and a concrete truss railway bridge with a span of 45 meters has recently been erected by assembling such concrete members.

In basic research carried out by Yamamoto at the University of Tokyo, it was shown that in case of concrete using ordinary portland cement at unit cement content of 500 kilograms per cubic meter, admixture of water-reducing agent at a rate of one percent by weight of cement, and curing at 21°C, high strengths of 430 kilograms per square centimeter at the age of one day and 950 kilograms per square centimeter at 28 days could be obtained. The water-cement ratio of the concrete was only 0.27, but the slump was approximately 12 centimeters.

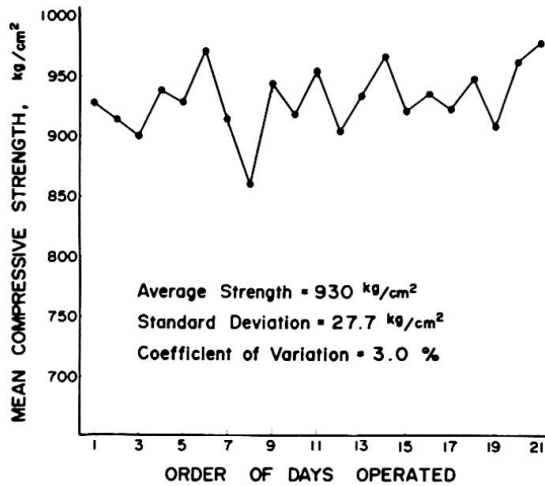


Fig. 2 — Truss railway bridge of Sanyo Super-express Line.

Furthermore, it was found that there were practical limits to unit cement content and dosage of water-reducing admixture; in this case, when making comparisons on the basis of concretes with equal workabilities, there was little gain in strength even if unit cement content were raised above 500 kilograms per cubic meter, unit water content was also a minimum when unit cement content was roughly around 500 kilograms per cubic meter, there was not very much effect of increasing water-reducing admixture beyond a certain extent (1 percent in this case), etc., and it is suggested that there would necessarily be an appropriate mix design in using such an admixture<sup>(12)</sup>.

Concrete with unit cement content above a certain degree and with addition of a large quantity of a water-reducing admixture which is thoroughly mixed, besides indicating high strength of about the level mentioned above without any special curing, will demonstrate prominent mobility under the action of a vibrator even though the outward appearance of the concrete may be that of dry consistency, and therefore, will be easy to consolidate with very little segregation of materials. Consequently, this type of high-strength concrete can be used widely for various kinds of elements and it is expected to become widely utilized. Fig. 2 shows a double-track railway bridge truss for a new super-express line using reinforced concrete members cast with this type of high-strength concrete, cured at outdoor temperature, and assembled by prestressing. The two examples of railway bridge trusses, including the one of 45-meter span previously cited, may be noted as cases of lightening dead weight through the use of slender members of high-strength concrete in structures subjected to extremely frequent repetitions of live loading. The decisions to use slender members were made after careful studies of fatigue resistance properties.

### 2.2.2. Accelerated hardening of concrete

There are various drawbacks to steam curing which are conceivable such as that hardly any strength gain of concrete at long-term age can be expected, that there is risk of microcracks being formed due to internal strains produced by the differences in thermal coefficients of expansion of the various materials used for elements such as cement, aggregates, water, air bubbles and steel, and that there is danger of cracks being produced during the process of temperature change, especially from temperature and moisture differences between interiors and surfaces of elements occurring with falling temperature, but it is being very widely used in manufacture of various kinds of concrete elements since the economic effects are prominent. Both drying shrinkage and creep are smaller for steam-cured concrete elements compared with cast-in-place concrete. For example,

even in case of atmospheric-pressure steam curing, drying shrinkage is about 30 percent and creep about 50 percent smaller. This would be of advantage for a structural member.

Venuat showed that the cement hydration products of cement steam-cured at atmospheric pressure are of practically the same kinds as the hydration products in case of curing at 20°C, but that differences can be recognized in the morphologies of the hydrates, sizes of crystals and porosities, and that the features of the various physical properties of steam-cured concrete can be explained from these differences<sup>(13)</sup>.

The important conditions in case of performing atmospheric-pressure steam curing are such as the presteaming period, rate of temperature rise, maximum temperature and duration of maximum temperature period, and rate of temperature fall, with the quality of a concrete element varying greatly according to these conditions, and it is necessary for these four conditions to be selected as suited in order that the purpose of curing can be achieved economically in accordance with the purposes of use, shapes and dimensions, materials used, and mix proportions. If maximum temperature were to be raised and duration of maximum temperature period prolonged within suitable limits, strengths would naturally be increased. Consequently, the curing cycle for achieving the desired purpose will differ according to the case. However, there are many countries where standards for these conditions have been established considering concrete elements marketed in general, among which there are cases requiring moist curing for several days after having performed steam curing. The recommendations of the American Concrete Institute on steam curing<sup>(14)</sup> are very good and there are many other countries which are utilizing them. These recommendations provide that maximum temperature in general should be between 66 and 82°C with rise in temperature not more than 22°C per hour in case of presteaming period of 3 hours and not more than 33°C per hour in case of 5 hours.

In case of concrete made by hot mixing, steam curing may be performed raising the temperature immediately to 80 to 90°C since the temperature of the concrete will already be up to a level of 40 to 50°C. The curing period will therefore be extremely short and in most cases this will be economical.

With high-pressure steam curing, compared with atmospheric-pressure steam curing, high strength of concrete is obtained at an earlier age, drying shrinkage is reduced, chemical resistance is increased, and efflorescence is reduced. This is said to be because the tobermorite formed during curing by this method is more dense than the tobermorite gels produced in the cases of atmospheric-pressure steam curing and normal moist curing. In case of performing moist-air curing or atmospheric-pressure steam curing, the aggregates in concrete are inert except for special kinds, while in case of curing in high-pressure steam of pressure of approximately 7 kilograms per square centimeter or higher, tobermorite of high silica content is produced in which lime and silica in the cement, water, and even silica in silicate admixtures and aggregates are combined. The previously mentioned superior properties are imparted because this tobermorite is hydrous calcium silicate which is strong and dense. In the event that high-pressure steam curing is to be performed on cement paste, it is necessary for a silicate admixture to be included. However, there are also cases which differ and the use of silicate admixtures will not be necessary when performing high-pressure steam-curing concrete. In essence, there are cases when the silicate in aggregates alone will be adequate<sup>(11)</sup>.

The cycles of high-pressure steam curing must be determined suitably in accordance with the specified strengths, dimensions, materials used, concrete

mix proportions of elements, etc., while steam curing is divided into two stages in most cases. In effect, presteamng is omitted with atmospheric-pressure steam curing performed as first-stage curing and high-pressure steam curing as the second stage. The various properties of concrete subjected to high-pressure steam curing are governed according to the second-stage curing while it appears the influences of the various conditions at the first-stage curing are small<sup>(15)</sup>.

In case of prestressed concrete piles (made by a pre-tensioning system with diameters not more than 0.6 meter and lengths not more than 15 meters) in Japan using the concrete described previously, compressive strength of 900 kilograms per square centimeter are being secured on completion of curing. Atmospheric-pressure steam curing is performed for approximately 10 hours at temperature between 60 and 70°C. Prestress is transferred, forms stripped, the piles are placed in an autoclave and the temperature is raised to 180°C in 3 to 5 hours. High-pressure steam curing is then carried out again for 3 to 5 hours at a temperature of 180°C and pressure of 10 kilograms per square centimeter. The rate of temperature drop is made to be as small as possible in accordance with the cross-sectional area of the pile. The report<sup>(15)</sup> that when high-pressure steam curing is carried out on concrete using a large dosage of high-performance water-reducing admixture, the tobermorite produced is particularly dense due to the dispersion effect on cement particles is of special interest.

### 2.2.3. Weight-reduction of concrete

When high-strength concrete is appropriately utilized, the cross sections of structural concrete members can be made smaller and the dead weight of a concrete structure can thus be lightened. However, a more effective means of reducing dead weight is the utilization of lightweight concrete. An advantage brought about by reduction in the weight of a structure other than lightening of the superstructure is simplification of the foundation, and this advantage becomes greater especially when bearing capacity of the ground is small. Furthermore, with a long-spanned concrete bridge, there will additionally be simplification of piers, abutments and shoes. In case of precast concrete elements, lightweight concrete will be of still more advantage as the costs of transporting and assembling will be reduced. Since the cost of artificial lightweight aggregate is much higher than that of normal-weight aggregate, the economy of the case of using lightweight concrete elements should be judged upon careful comparison of the abovementioned advantages and materials costs, but it is felt there will be many cases when the use of lightweight elements will be economical<sup>(16)</sup>. Lightweight concrete elements are excellent in the properties of heat insulation and sound absorption, and are being used to a considerable extent as wall, floor and roof materials of various types of buildings.

The variety of lightweight aggregates used for lightweight concrete is very great. Not only do the qualities vary, but also the properties differ with each country and each region even for aggregates belonging to the same classification. Therefore, to attempt to clearly outline what will be the unit weights, strengths, durabilities and other physical characters of concretes using these lightweight aggregates is a difficult matter. However, when lightweight aggregates of comparatively good qualities are used, concretes of unit weights between 1.6 to 2.0 tons per cubic meter and compressive strengths between 350 to 500 kilograms per square centimeter can readily be obtained so that they are even used in prestressed concrete bridges. The modulus of elasticity of a lightweight concrete will naturally be low, but with regard to the amounts of shrinkage and creep, whereas there are reports that these were as much as 1.5 to 2.0 times those of normal-weight concrete, there are reports on the other hand stating that for practical purposes there were no significant differences. This

discrepancy is probably due chiefly to differences in the qualities of the aggregates. Since it is inconceivable for drying of civil structures standing outdoors to progress in the same manner as drying in the laboratory, there will be cases when it will be unrealistic to consider laboratory values of shrinkage and creep for design. However, as cracking due to difference in moisture content between surface and interior portions of concrete is liable to occur, it would be proper to provide additional reinforcement or combined use of natural aggregates to a suitable degree in case of precast elements to be employed in an important structure. Also, it is suitable for more thorough reinforcement to be provided than for normal concrete at places where stress concentration will be produced.

#### 2.2.4. Self-stressing concrete

The method of transferring prestress to concrete through restraint of expansion of concrete containing expansive cement by forms or steel is beginning to come into practical use for various structures such as floor and roof slabs of buildings, water tanks, pressure pipes and pavement slabs. This method is being actively used especially in the Soviet Union, but in most cases, the prestress transferred is not more than 40 kilograms per square centimeter.

Prestressed pressure pipes are representative of precast concrete elements utilizing self-stressing concrete and have found widespread practical use. In order for self-stressing concrete to be extensively used in other types of precast elements, there will be accurate control of prestress needed, while problems requiring clarification still remain such as loss of prestress accompanying shrinkage and creep of concrete, but this is a material which is important for saving labor and economizing in construction of precast structures. Moreover, as will be described later, this is without any doubt an extremely useful material for joining precast elements.

#### 2.3. Standardization of concrete elements

All industrial products will show remarkable development as a result of standardization, and precast concrete elements are not exceptions. As they have become standardized in various countries, mass production has progressed to make possible lowering of product costs, and general use and development have been realized. Although the details of standardization differ with each country, materials, manufacturing methods, testing methods, etc., are specified for many kinds of concrete elements.

One key to making design of a precast concrete structure economical may be said to be in suitably joining together standard concrete elements which are widely being marketed or making composite members out of elements and cast-in-place concrete. For the designer, in such case, it will be desirable for an element to be usable for several other purposes besides its main purpose. For example, a prestressed concrete foundation pile can be used as all or part of a bridge pier, or as a structural column of a building. Consequently, there will be cases when it would be advantageous to slightly modify designs of structures in accordance with the shapes and dimensions of elements available on the market.

It is desirable for standardization of precast elements to be done not on a mere national basis but on an international scale. This will be extremely difficult to accomplish, but at the least, it is wished to internationally unify standards for materials used in construction of structures and testing methods of elements. However, if standardization of elements were to go ahead, a trend

to hinder revolutionary progress may be produced because the natures of manufacturing facilities, materials and practices will tend to become fixed, and it will be absolutely necessary to take precautions that such a bad effect will not result.

### 3. Developments in Assembly of Precast Concrete Elements

#### 3.1. Joining of precast elements

It is not an overstatement to say that design and construction of joints between precast concrete elements, connections between precast concrete members, and connections between precast concrete elements and cast-in-place concrete members comprise the most important problem in construction of precast structures. All of these joints and connections must be such that the required precisions will be possessed, that there will be no overstressing under design load, and that the required safety factors against failure will be secured. Also, it is necessary that construction of joints and connections can be done quickly and economically.

Materials used for joints in making prestressed concrete members by connecting precast elements may be broadly divided into the three varieties of concrete, mortar and epoxy compound, the last being in essence a mixture of epoxy resin and hardening agent. Joint construction using concrete or mortar is a method which has been widely employed from the past. The work is easy, and generally, it is the most economical method. However, since prestress cannot be transferred until the concrete or mortar has hardened to a certain extent, there is the great shortcoming that the construction period will be prolonged. Nevertheless, it is possible to transfer prestress immediately even when using mortar in case elements are to be joined one on top of another, and there have been cases of good results obtained by setting the upper element on stiff mortar thinly spread across the top of the lower element, vibrating the elements to transmit vibrations to the mortar to increase its mobility and make it spread uniformly throughout the joint surface, stopping the vibration when the thickness of the mortar had become reduced to a specified amount, and immediately transferring prestress. The method of using an epoxy compound has been devised to shorten construction periods, but since epoxy is an expensive material, in addition to which its deformation is large, it is desirable for joint thickness to be small. However, if the joint thickness is to be made very small, it will be necessary to finish end surfaces of elements to be joined so that they will fit together perfectly, but this would be almost impossible to accomplish. Therefore, a method using epoxy compound mixed with filler of fine sand or cement has come into use with joint thickness being one to two centimeters, but in case of this method also, transfer of prestress must wait until the epoxy has hardened.

The coming into practical use of a jointing method using only epoxy compound and no filler may be cited as one of the remarkable advances made in recent prestressed concrete bridge construction. In this case, in order to cause the ends of two elements to be joined to fit perfectly, when manufacturing the elements, separating material was coated on the end of one element to be joined and concrete was cast up against this to use it as a form. Consequently, elements were required to be manufactured on a precasting bed matching the intrados line of a bridge, and the operations involved were troublesome in such a case as when the intrados profile of a long bridge happened to vary. However, since there were perfect fits between elements at the joint portions, the thickness of epoxy

could be made extremely thin, and upon fitting, it was possible to transfer prestress immediately. Accordingly, the construction period required for jointing was shortened to about one fifth of that for the ordinary case of using mortar joints. Subsequently, it has been devised so that adjustments could be made even if the intrados or some other feature of a bridge should vary, or in case an error should be produced in erection, by referring to the results of computer calculations and using one fixed mold and two movable molds. Thus, success has been achieved in simplifying the abovementioned troublesome work. Cantilever erection without using shoring is facilitated going by the method of using epoxy only.

There is an extremely great variety of joints and connections being used which do not rely on mechanical prestressing, and broadly divided, they are those utilizing welding, bolting or other means of connection between steel provided at ends of elements or members, those depending on bond or anchorage in concrete of steel protruding from ends of elements or members, those employing sleeves, those using the likes of epoxy compound, those embedding ends of members in cast-in-place concrete, and others, with various innovations provided depending on the respective purposes. There are also cases of good results having been obtained by filling self-stressing concrete or mortar between members to be joined.

### 3.2. Assembly

With the recent advances made in concrete technology and the rapid progress evidenced in cranes, trucks and other machinery, precast concrete elements and their assembly have become of extremely large scale. This is in response to the demands of society for rapid construction and saving of labor. To take a bridge using precast concrete elements as an example, Tiel Bridge in the Netherlands is a cable-stayed concrete bridge of a total length of 612 meters having a center span of 267 meters. The approach viaduct of this bridge is a continuous structure consisting of ten spans each of 78.5 meters and a cantilever of 22 meters. The viaduct was constructed by cantilever erection of precast elements using epoxy compound, and each element had a length one fifteenth of span length and a weight of 120 tons. It is said the stays of the main bridge were made of prestressed concrete assembled by connecting precast concrete elements 5.15-meter long with joints of cast-in-place concrete. This was for protection of prestressing cables and for increasing rigidities of stays.

Precast concrete bridges built by cantilever erection of precast elements are being constructed at many places throughout the world and it is not unusual for center spans to exceed 100 meters in length. When rivers or sea routes can be utilized for transportation, the use of much larger elements is permissible, and for the center of Tiel Bridge, four suspended lightweight concrete girders each of length of 65 meters and weight of 425 tons were used, and these were erected on hauling by barge.

The reason cantilever erection is recommended is because there are such advantages as suitability for construction across deep canyons and over seawaters, no obstruction of river water flows or highway and railway traffic flows since shoring can be omitted, and because rapid erection is possible. However, when only direct construction costs are compared, cantilever erection is generally more expensive than cases of providing shores and making connections on top of falsework on the shores with joints of concrete or mortar, or cases of elements connected at some other site with joints of concrete or mortar and installed using erection trusses or other equipment, and it is particularly more expensive in case of a short bridge. On the other hand, the shortness of the construction period results in the benefits of earlier opening for use and

reduction of interest on investment, while the benefit accompanying reduction in obstruction of traffic flow is also substantial. Therefore, in selecting the method of construction, the true economics cannot be judged unless careful study is made of the net result of these benefits and the direct construction costs.

The discussion above is on only one example — there is much research activity going on in many fields on design and execution of assembly according to the type of precast structure, and these studies are unquestionably making steady advances. Namely, research is being conducted on methods of rapid yet safe assembly according to type of project, conditions of work site, period of construction, and construction cost and construction equipment as well. If circumstances should permit, it will naturally be advantageous to reduce the number of joints by using large-sized elements. Accordingly, elements have increased in size as advances have been made in equipment for their erection, particularly cranes, and there has even been a case of a precast reinforced concrete well weighing approximately 1,800 tons used for the pier of a marine bridge.

It is thought that offshore structures will be important precast concrete structures to be developed from here on, and besides marine bridges already mentioned, marine airports, marine power stations and marine petrochemical complexes can be cited as not-too-distant examples for development which come to mind. It may be said that construction of these types of structures will be impossible unless precast concrete is utilized since work on these structures must proceed while protecting the ocean environment. It is thus thought that even more development of precast structures will be seen in the future.

#### References

- (1) Proceedings, 4th Congress of FIP, Theme IV, Progress in Precast Factory Manufacture and Standardization, Rome-Naples, 1962
- (2) Proc., RILEM Int. Conference on the Problems of Accelerated Hardening of Concrete in Manufacturing Precast Reinforced Concrete Units, Moscow, 1964
- (3) Proc., 5th Int. Congress of the Precast Concrete Industry, London, 1966
- (4) Proc., IABSE Symposium on Design Philosophy and its Application to Precast Concrete Structures, London, 1967
- (5) Proc., FIP Symposium on Mass-produced Prestressed Precast Elements, Madrid, 1968
- (6) Proc., 5th Congress of FIP, Report of FIP Commission on Prefabrication, Paris, 1966
- (7) Proc., 6th Congress of FIP, Report of FIP Commission on Prefabrication, Prague, 1970
- (8) Yoshida, T., "Manufacture of Maximum-Strength Concrete," Proceedings, Japan Society of Civil Engrs., Vol. 26, No. 11, Nov. 1940 (in Japanese)
- (9) Roy, D.M., and Gouda, G.R., "High Strength Generation in Cement Pastes," Cement and Concrete Research, Vol. 3, 1973
- (10) Hummelshoej, G.E., "New Method of Producing Hot Concrete," Dansk Betonwaareindustri, No. 4, 1967
- (11) Nishi, H., Oshio, A., and Fukuzawa, K., "Autoclave-cured Concrete and Piles," Cement and Concrete, No. 299, Jan. 1972 (in Japanese)
- (12) Yamamoto, Y., "Basic Research on Use of Set-retarding Admixtures and Water-reducing Admixtures in Concrete," accepted for publication in Proceedings, Japan Society of Civil Engrs., 1975 (in Japanese)
- (13) Venuat, M., "Effect of Elevated Temperatures and Pressures on the Hydration and Hardening of Cement," Proc., 6th Inter. Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, Sep. 1974
- (14) Recommended Practice for Atmospheric Pressure Steam Curing of Concrete



- (ACI 517-70), American Concrete Institute
- (15) Sugiki, R., "Accelerated Curing of Concrete," Concrete Journal, Vol. 12 No. 8, Aug. 1974 (in Japanese)
- (16) Report of FIP Commission on Lightweight Concrete Structures, Proc., 6th Congress of FIP, Prague, 1970

#### SUMMARY

Recent facilities and practices for manufacturing precast concrete elements and new developments in assembly of elements are summarized and the problems involved are discussed. It is pointed out that extra-high-strength concrete can be readily obtained through use of a high-quality water-reducing admixture and the performance in actual use is described.

#### RESUME

La contribution présente les développements récents dans la production d'éléments préfabriqués en béton ainsi que dans l'assemblage de ces éléments. Les problèmes soulevés par cette évolution sont discutés. On souligne qu'une résistance exceptionnellement élevée du béton peut être facilement réalisée par l'utilisation d'un produit de haute qualité diminuant la quantité d'eau nécessaire. Les résultats obtenus sont décrits.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Beitrag werden die neuesten Möglichkeiten und Verfahren zur Herstellung vorfabrizierter Betonelemente und neue Entwicklungen in Bezug auf die Montage zusammengefasst und die damit verbundenen Probleme diskutiert. Es wird hervorgehoben, dass extrem hohe Betonfestigkeiten leicht durch den Wasseranspruch reduzierende Rezepte erzielbar sind. Entsprechende Ergebnisse bei der praktischen Anwendung werden beschrieben.

## **New Applications including Submerged and Floating Structures**

Utilisations nouvelles, comprenant les constructions sous-marines et flottantes

Neue Anwendungen einschliesslich Unterwasserbauten und schwimmende Konstruktionen

ARTHUR R. ANDERSON  
Senior Vice President  
ABAM Consulting Engineers  
Tacoma, Wash., USA

### 1. INTRODUCTION

Precast concrete, as applied to structures, may be reinforced or it may be prestressed. The precast concrete elements may be produced on the construction site or they may be plant-manufactured and transported to the construction site.

The technique of precasting concrete structures has been known for more than 100 years. In fact, the first recorded example of reinforced concrete is a small boat built in France by Joseph Lambot in 1848. One may wonder why precast concrete has not been more extensively used since Lambot's time. Perhaps the comparative ease of building wooden forms on the site and the placement of wet concrete by relatively unskilled labor with simple tools resulted in the lowest construction cost. Many entrepreneurs with limited capital have competed successfully employing transient labor utilizing simple tools.

In contrast to dry-land construction, submerged and floating structures have not been adaptable to in-situ concrete methods. For technical as well as economic reasons, structures located under the sea as well as floating structures have been precast in special facilities equipped with graving docks or launching ways. Production equipment such as batching and mixing plants, large capacity cranes, stressing beds and permanent steel forms are used.

The permanent nature of a precast/prestressed concrete enterprise depends on management by technical specialists and steadily employed skilled production workers.

Factory-produced precast concrete can reach very high strengths (500 to 800 kg/cm<sup>2</sup>) and, when prestressed with high tensile strength steel, impressive gains in economy and structural performance are attainable.

### 2. SUBMERGED STRUCTURES

Precast/prestressed concrete piles for bridges and harbor structures in sea water have demonstrated performance with minimum maintenance problems. To avoid cracking, concrete piles are pre-

stressed in the range of 60 to 90 kg/cm<sup>2</sup>. When exposed to sea water, dense, well-compacted concrete with a water-cement ratio of 0.38 to 0.42 is recommended for durability and corrosion protection for the reinforcing steel.

Submerged sewers constructed from precast/prestressed concrete, such as the Hyperion Outfall in Los Angeles and the Lake Washington Interceptor Sewer in Seattle<sup>1</sup> (Fig. 1) are outstanding examples.

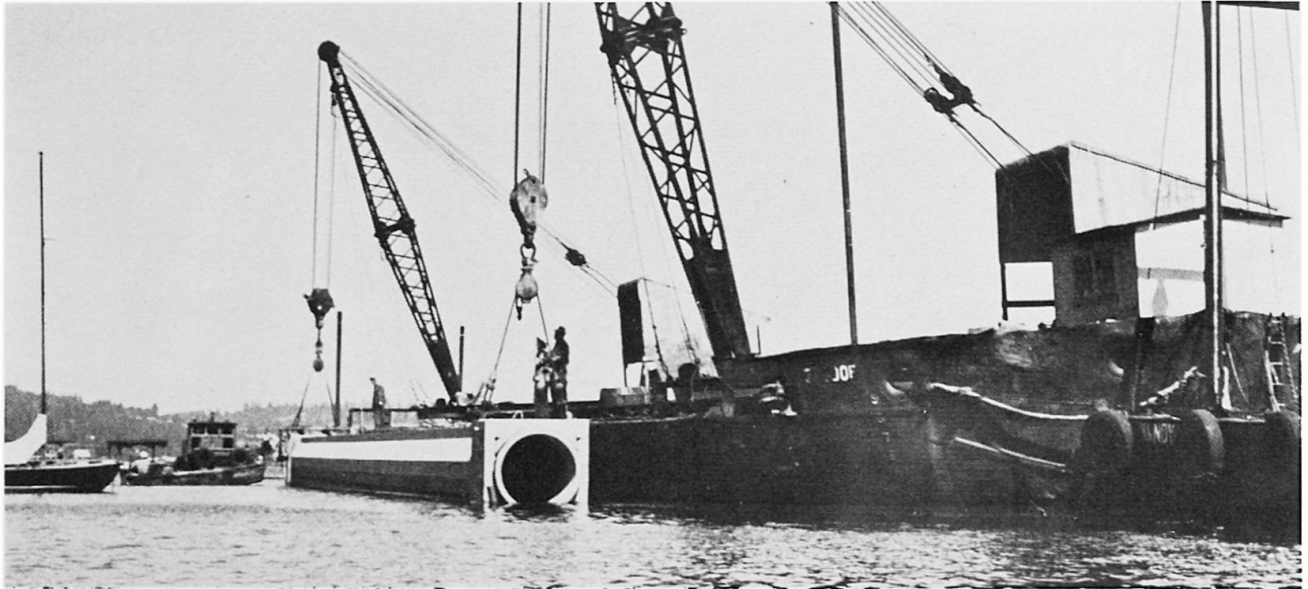


Fig. 1: Metro sewer - Lake Washington Interceptor Sewer in Seattle, Washington.

Large caissons for subaqueous tunnels have been precast in dry basins. The caissons are launched by flooding the basin. When afloat, they are towed to the site where they are submerged to their final location (Fig. 2). Good examples of highway and rail-

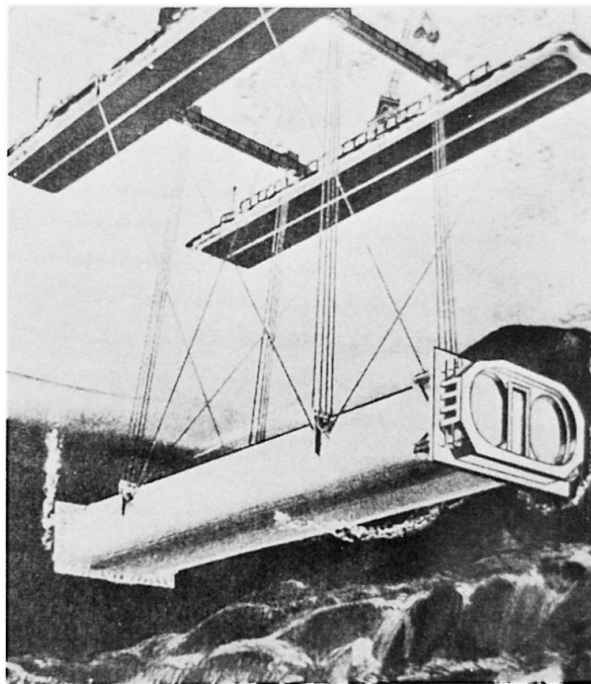


Fig. 2: San Francisco Rapid Transit Tube being submerged to its final location.

way tunnels include the La Fontaine Tunnel at Montreal, the San Francisco Rapid Transit Tube<sup>2</sup> (Fig. 2) and the new Tokyo Bay Loop Expressway Tunnel.

The latter is a submerged tunnel 1 km long, containing 9 precast caissons. Each caisson measures 115 x 37 x 9 m, and weighs 38,000 tons. The elements were precast in a dewatered basin 645 m long and 126 m wide. When all caissons were completed, the basin was flooded and the precast concrete elements were floated and towed to their final location and then sunk to the bottom.

Some recent and dramatic examples of submerged precast structures are to be found in the North Sea. The first of the giant oil drilling and production facilities is Norway's Ekofisk I,<sup>3</sup> which was completed in June 1973. Shown in Fig. 3, this structure contains 83,000 m<sup>3</sup> of concrete, 8,600 metric tons of reinforcing bars and 3,300 metric tons of half-inch diameter prestressing strand. Ekofisk I was constructed in Stavanger and towed 480 km to its designated location in the North Sea and then lowered to the bottom in 70 m of water.

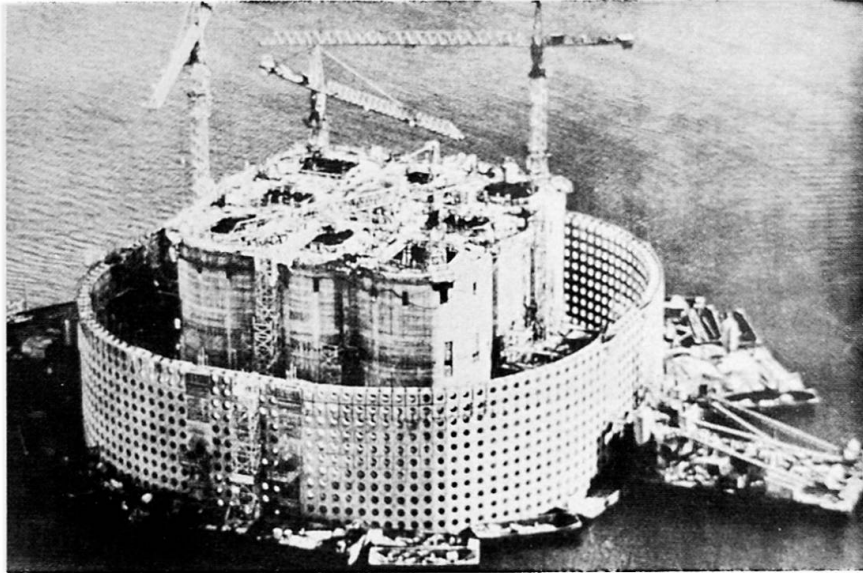


Fig. 3: Ekofisk I, oil drilling and production facility for use in the North Sea.

Immediately following Ekofisk I, the Stavanger facilities have started construction of a series of multicell precast concrete oil production facilities called Condeeps (Fig. 4). Like Ekofisk, the Condeeps (four under construction in 1974) are started in a dewatered basin 10 m below sea level. When constructed to floatable depth, the basin is flooded and the partly-complete elements are moved into the Stavangerfjord where construction continues while they remain at anchor in deep water. (Fig. 5) The nineteen cylindrical cells are concreted in slip forms to a height of 80 m. Each cylinder is closed with a dome roof. Rising above the 19 cells are three slip-formed concrete legs which support the operating platform.

Another precast concrete submerged oil facility, the Selmer Tripod (Fig. 6), is being developed in Norway. Designed for a water depth of 130 m, it has an oil storage capacity of 1 million barrels.

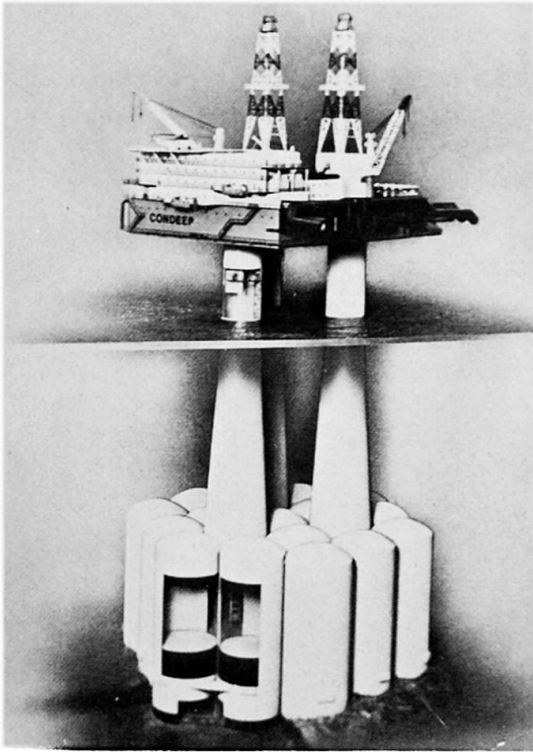


Fig.4: Condeep, Norway's multi-cell precast concrete oil production facility.

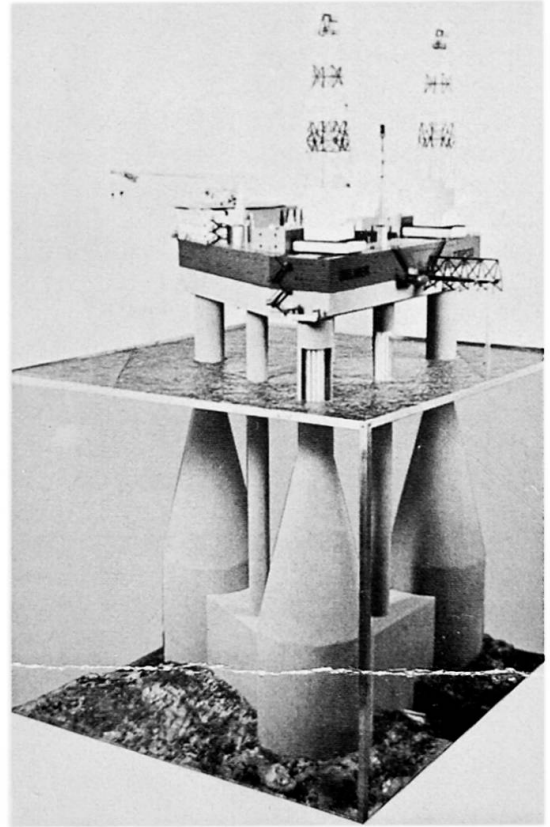


Fig.6: Selmer Tripod, million-barrel oil storage facility being developed in Norway.

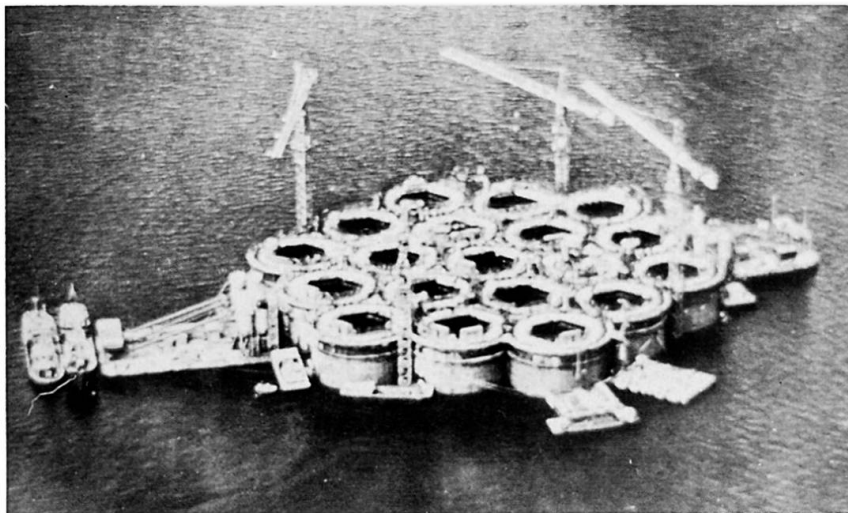


Fig.5: After flotation, construction on the Condeep continues in the Stavangerfjord.

Concrete platforms for North Sea oil production are under construction by McAlpine-Sea Tank in Scotland. Shown in Fig. 7, the structure is intended for installation in water depths ranging from 137 to 163 m. Each structure requires 257,000 tons of concrete and 13,000 tons of reinforcing steel.

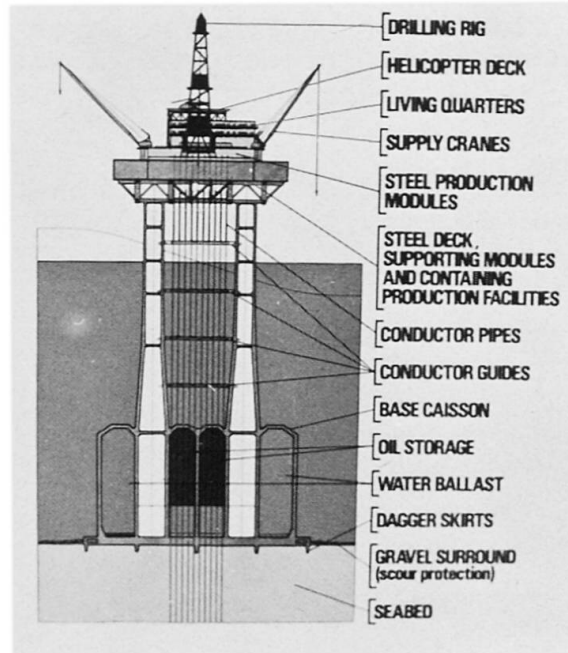


Fig. 7: McAlpine-Sea Tank gravity platform being constructed in Scotland.

Very deep submerged precast concrete structures have been tested by the U.S. Navy.<sup>4</sup> Figure 8 shows a cylindrical concrete shell structure that was tested at a depth of 180 m below sea level. After eleven months' submergence, the vessel was raised. The interior walls were dry, but approximately 3 liters of water had leaked around a hull fitting.



Fig. 8: SEACON, tested at 180 m below sea level by the U.S. Navy.

### 3. FLOATING STRUCTURES

The total number of concrete floating structures, including concrete ships that have been launched, probably exceeds one thousand.

In service as floating highways are three precast concrete multi-pontoon structures, two crossing Lake Washington (fresh water), at Seattle, and one crossing Hood Canal (salt water), in Washington State.

All three floating bridges feature precast concrete pontoons, whose dimensions are: length, 110 m; width, 20 m; and depth, 4-1/2m. The shell thickness is 23 cm (Fig. 9).

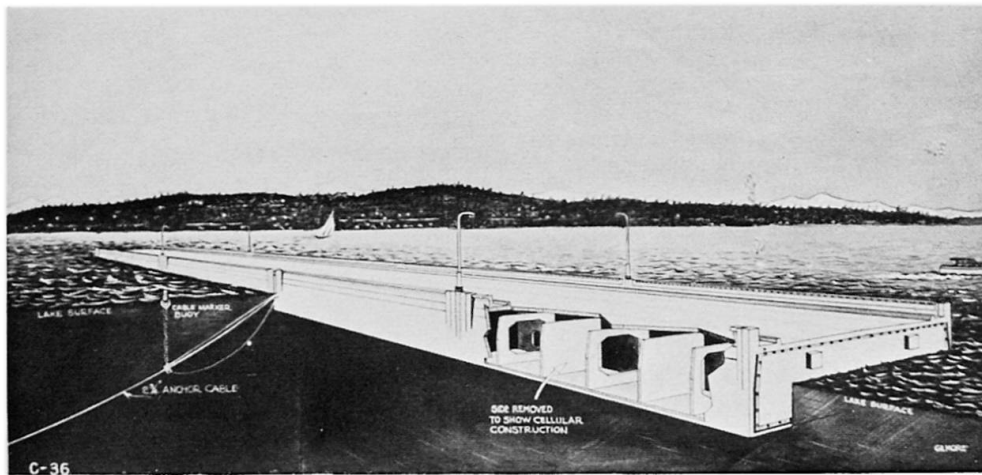


Fig. 9: Cutaway view of floating bridge pontoon.

The first of the floating bridges, built in 1939, was reinforced with standard deformed bars. The second bridge, built in 1955, and the third bridge, built in 1962, were post-tensioned with seven-wire strand tendons.

All precast pontoons were built in a graving dock and launched by flooding the dock (Fig. 10).

After the pontoons were afloat, the elevated superstructure was built and, when completed, the pontoons were towed to the construction site (Fig. 11).

A very large concrete floating harbor for super tanker cargo transfer on the high seas has been proposed by Ulrich Finsterwalder. Shown in Fig. 12, this huge concrete structure would accommodate the ultra large crude carrier having a cargo capacity of 1,000,000 tons.

A. J. Harris has proposed a floating airport, with two parallel runways 4,270 m long, and 4,000,000 square meters of taxiways and parking aprons<sup>5</sup>.

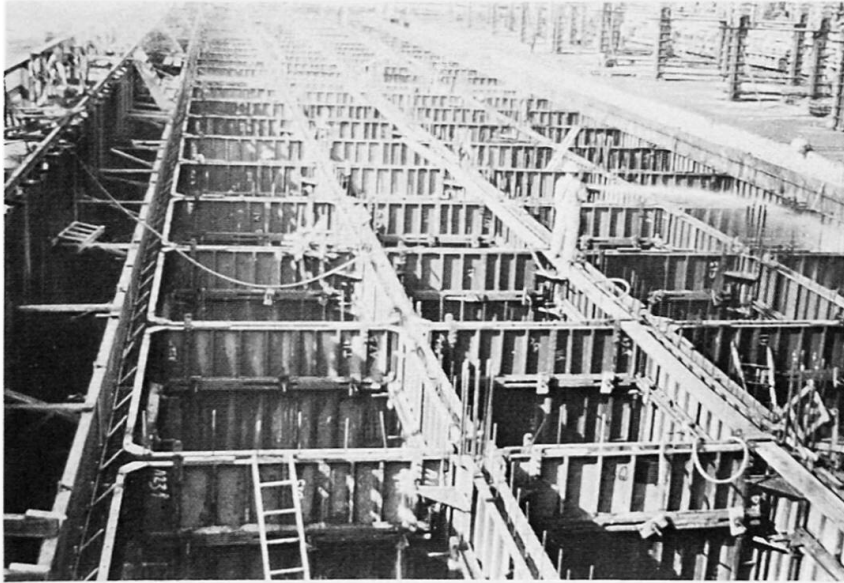


Fig. 10: Precast pontoon construction in graving dock.



Fig. 11: Precast pontoon under tow to elevated super-structure construction site.

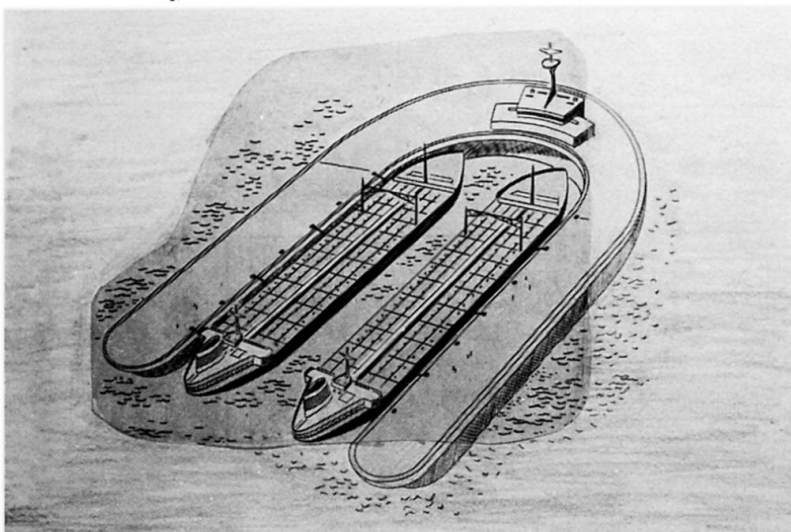


Fig. 12: Concrete floating harbor proposed by Ulrich Finsterwalder.



A very recent application of precast/prestressed concrete is a floating platform for processing and storage of liquid petroleum gas. The vessel, 140 x 41 x 17.4 m, contains 9,000 cubic meters of concrete. The full-load displacement of the vessel is 65,000 tons. (Fig. 13)

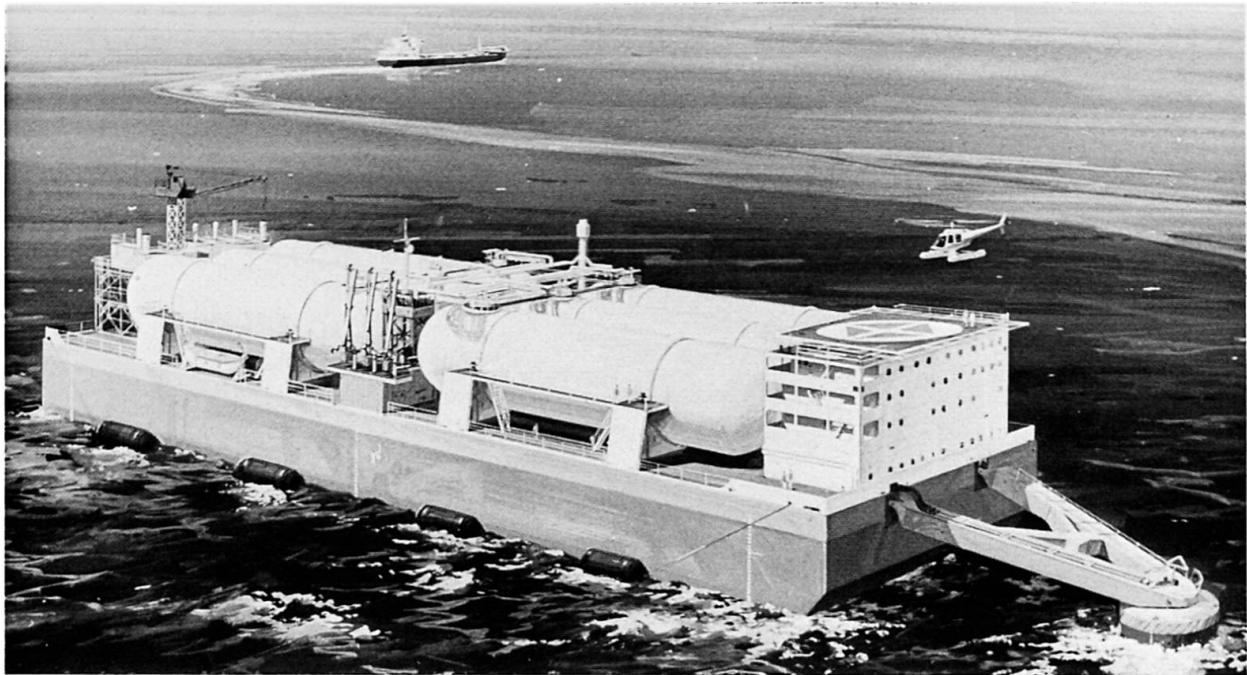


Fig. 13: Liquid petroleum gas production facility, pre-stressed concrete hull. Total displacement 65,000 tons. To be located in the Java Sea.

#### 4. RULES AND RECOMMENDATIONS FROM OTHER GROUPS

Much valuable information on design, construction and inspection of fixed offshore structures has recently been published by Det Norske Veritas\*, the Norwegian ship classification Society. Their rules for design and construction have, in the past, primarily related to steel ships and offshore structures.

The 1974 rules include considerable material applicable to reinforced and prestressed concrete offshore structures.

The rules require analyses for two loading conditions:

- a. Functional loads.
- b. Environmental loads and associated functional loads.

Functional loads are those loads incidental to the structures' existence, use and treatment under ideal conditions for each design condition (ideal conditions means no wind, waves, etc.), i.e., no "environmental" loads.

Environmental loads are all directly or indirectly due to environmental actions, such as wind, waves, currents and ice.

For design purposes, the maximum environmental load conditions are based on the most probable severity over a 100-year period.

---

\*Det Norske Veritas, Grenseveien 92, Oslo, Norway.

The required material properties and principles for design and analysis are thoroughly explained. The rules are based on the limit state method.

In addition to the functional and environmental loads given above for all offshore structures, effects unique to prestressed and precast concrete structures must be considered. These include:

- Prestressing
- Creep
- Shrinkage and absorption
- Heat of hydration
- Temperature of stored fluids
- Load concentrations due to uneven sea floor
- Differential settlement

The limit states for design of concrete offshore structures are placed in two categories:

- a. The ultimate limit states (ULS) which are those corresponding to maximum load carrying capacity:
  - Loss of overall equilibrium
  - Rupture of critical sections
  - Instability by deformation
  - Plastic or creep deformation necessitating replacement of the structure, etc.
- b. The serviceability limit states (SLS) which are those related to the criteria governing normal use and durability of the structure:
  - Premature or excessive cracking
  - Unacceptable deformations
  - Corrosion of reinforcement or deterioration of concrete
  - Undesirable vibrations, etc.

Valuable recommendations for constructional arrangements and practices are given, as are provisions for quality assurance.

Recommendations for the design of concrete sea structures published in 1973 by the Fédération Internationale de la Précontrainte contains much valuable basic information on prestressed concrete sea structures, which parallels and augments information from other sources. Included in the FIP Recommendations is a comprehensive bibliography of reference material.

## 5. LOADS AND FORCES FROM THE SEA

Floating and submerged structures are exposed to systems, loads and forces not fully understood nor quantifiable. More experience and research is needed in order to construct safe, yet economical concrete offshore structures.

Recent work in this field has been presented at the Sixth Off-shore Technology Conference, May 6-8, 1974, Houston, Texas.

Tørum, Larsen and Hafskjold, in Paper No. OTC 1947<sup>6</sup>, discussed the safety of a concrete gravity structure resting on the bottom of the sea. Research on wave forces, hydraulic aspects related to bottom-mounted concrete structures, shock waves, wave damping devices and scour are discussed.

Investigations have been carried out on the effect of wave loads and wave damping under the sponsorship of Ingeniør F. Selmer A/S, Norway, and with financial support by the Royal Norwegian Council for Scientific and Industrial Research.

Tests were conducted at the River and Harbor Laboratory at the Norwegian Institute of Technology, where research work on shock waves and scour was also performed.

Conclusions reached from this work include:

- Sea bottoms on which gravity structures rest are often vulnerable to scour, small structures more so than large ones.
- Designs based on forces from regular waves may give conservative results when compared to irregular waves.
- For evaluation of stresses in the sea bottom soil, one should consider possible dynamic amplification. There is no doubt that, for certain types of soil, such amplification may occur for large structures in deep water.
- When large shafts protrude upward above the waterline, they become susceptible to shock pressures. Model studies indicated the presence of shock pressures during combined wind and irregular wave loading. For a curved surface, the irregular contact face between water, air and structure is difficult to model mathematically. Neither theoretical nor empirical relationships between shock intensities, duration or distribution and wave height, wave steepness or shaft diameters are available.
- The structural response to shock pressures may be separated into global and local effects. The global response to the shock pressure is in most cases negligible, as the resulting load is small compared with the loading from non-breaking waves. For example, a 12 m diameter shaft subjected to 20 t/m<sup>2</sup> shock pressure over a 10 x 10 m lateral area is approximately 100 tons. For comparison, the lateral load from a non-breaking wave with a height of 25 m and period of 15 sec at 80 m depth is 2,800 tons.

However, the repeated action of the wave shocks sets up small amplitude shock waves propagated down the shaft, and this effect must be included when evaluating the risk of failure at the base of the shafts.

- Wave damping devices have been studied to find methods to damp waves where vessels are moored next to gravity platforms. Much remains to be learned about scour at the base of large concrete gravity structures resting on the ocean floor.
- Scour protection may be provided by a stone blanket which is placed on a suitable filter.

## 6. CONCLUSIONS

The potential for precast concrete floating and submerged structures almost defies imagination, especially offshore construction for petroleum production facilities. Considerable work has already been accomplished or is in advanced stage of engineering and design.

The advantages for precast and prestressed concrete construction are manifold, and include the following:

- a. Can be produced under factory conditions with labor-saving mechanization.
- b. Precast concrete made with low water-cement ratio and vigorous mechanical compaction can reach very high strength and resistance to sea water attack.
- c. Production proceeds independently of weather conditions at the site, assuring high quality and time saving on construction schedule.
- d. Economy in total capital cost and maintenance cost favors precast construction.

To advance the state of the art, research and development is needed. More understanding of hydrodynamic loading and stability of foundations on the ocean floor is very necessary.

## REFERENCES

<sup>1</sup>Seattle sewer is constructed like an underwater concrete bridge. Engineering News Record, September 23, 1965.

<sup>2</sup>Techniques for construction on the ocean floor. Ben C. Gerwick, Jr., Proceedings of the Conference on Civil Engineering in the Oceans, American Society of Civil Engineers, September 1967.

<sup>3</sup>Concrete oil storage tank placed on North Sea floor. Ben C. Gerwick, Jr., and Eivind Hognestad, Civil Engineering, August 1973.

<sup>4</sup>Research and development of deep submergence structures. Harvey H. Haynes, Proceedings of the FIP Symposium, Concrete Sea Structures, Tbilisi, 1972.

<sup>5</sup>Seadrome -- a floating airport. A. J. Harris, Proceedings of the FIP Symposium, Concrete Sea Structures, Tbilisi, 1972.

<sup>6</sup>Offshore Concrete Structures - Hydraulic Aspects. Alf Tørum, Per K. Larsen and P. S. Hafskjold, Paper No. OTC 1947, Offshore Technology Conference, 6200 North Central Expressway, Dallas, Texas 75206, May 1974.

#### SUMMARY

New applications for precast structures are becoming increasingly interesting for offshore construction, both floating and submerged. High quality prestressed concrete is especially attractive for environments where resistance to fatigue as well as corrosion are a major concern.

#### RESUME

L'emploi de structures préfabriquées devient toujours plus intéressant pour les constructions en mer, qu'elles soient flottantes ou submergées. Le béton précontraint de haute qualité est particulièrement favorable à l'environnement, surtout où la résistance à la fatigue et à la corrosion est essentielle.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Verwendung vorfabrizierter Tragwerke wird für Bauwerke im Meer immer interessanter, sei es für Unterwasserbauten oder schwimmende Konstruktionen. Der Spannbeton von hoher Qualität ist besonders umweltfreundlich was bezüglich Widerstand bei Ermüdung und Korrosion von grösster Bedeutung ist.