

技術会議報告 T2 高強度および超高強度コンクリートの プレストレストコンクリート構造への利用

西山 峰広*

1. 全体概要

本テクニカル・トピックを、今回のシンポジウムに加えるに際して議論となったのは、高強度コンクリート（以下 HSC と略記）の定義あるいは範囲をどのように定めるか、すなわち、圧縮強度をどの程度に設定するかということであった。建築と土木、実務と研究の分野あるいは国内と諸外国ではその定義は異なる。その絶対的な定義はないものの、コンクリート強度にある程度の基準を設ける必要があるのではないかということであった。切りのよいところで 100 MPa 以上としようという意見も出たが、現場で実際に利用されているコンクリートは、そんなに高強度ではないという実状も考慮する必要があった。タイトルに“HSC and Super HSC”とあるのは、“HSC”により 60 MPa あたりのコンクリートを対象とし、“SHSC”により 100 MPa 以上の超高強度コンクリートに関する論文をも含めたいという意図があったためである。結局、論文の状況を見て判断しようということになった。実際のところ集まった論文の数は、全セッションの中でもっとも少ない 14 件であった。各テクニカル・トピックには、基本的に 1 時間 30 分のセッションを 2 つ割り当て、各セッションでそれぞれ 6 件の発表が可能のため、応募された論文はすべて口頭発表となった。論文審査の段階で問題となったのは、

HSC の定義だけでなく、HSC を材料として扱い、プレストレストコンクリートと直接的には関係のない論文の扱いであった。しかしながら、FIP は、主にプレストレストコンクリートを対象としているが、コンクリート系構造物とそれに付随する材料をも対象としていること、また、このような材料的・基礎的な研究をおろそかにはできないことにより採用することとなった。

14 編の論文を、内容によって分類すると、実際の構造物に HSC を応用したという論文がほとんどであったが、材料的な特性に関する論文が 3 編、また、設計基準を紹介したものが 1 編あった。土木あるいは建築という分類をするならば、すべて土木の分野の論文である。日本からの論文は 6 編であり、比率のみでいうならば、最も海外からの論文数の多いトピックであった。なかでもノルウェーからの論文が 5 編もあったことは、特筆に値する。1994 年の冬季オリンピックは、ノルウェーの Lillehammer で開催されたが、ここで、1993 年の 6 月に HSC に関する国際シンポジウムが開催され、筆者も参加した。この際に、ノルウェーにおけるこの分野での多くの研究および実例が紹介された。現 FIP 会長の Moksnes 氏がノルウェーからの参加であり、この関係もあってか、この京都シンポジウムにノルウェーから多くの方が参加された。HSC に関する 2 つのセッションのうち、後半のセッションではノルウェーの Helland 氏が司会を担当し、ノルウェーからの発表 5 件もすべてこのセッションの中で行われたため、さながら、Norwegian セッションとなってしまった。その他の海外からの論文は、オーストラリア、オーストリアそしてフランスからであった。残念ながら、このうちの 2 件、オーストラリアとオーストリアからの論文については発表者が現れなかったため、発表がキャンセルされた。

問題のコンクリート圧縮強度であるが、材料に関する論文の場合には、40~120 MPa、実構造物への適用に関する論文では、最大 75 MPa までで、ノルウェーの設計基準を紹介している論文では、最大 100 MPa となっている。



* Minehiro NISHIYAMA
京都大学 工学部建築学第二教室 助手

前半のセッションの司会は、フィンランドの H. Kakko 氏と首都高速道路公団の原光雄氏、後半のセッションの司会は、ノルウェーの S. Helland 氏と広島大学の田澤栄一先生であった。セッション・コーディネーターとしての筆者の役割は、セッションが円滑に運営されるように司会の方々の補助をすることである。本セッションでは私の出番はなかった。

本セッションは総じて「静か」であった。質問もほとんど出なかった。

2. 各発表論文の概要

ここでは、HSC の分野における現状や今後の動向などを、発表論文の概要を引用しながら記す。

2.1 材料特性に関する論文

材料関係の論文は概略次のような内容の 3 編であった。

(1) “*Properties of High-Strength Concrete Containing Cement Supplementary Materials*” (T 2 (a)-1)

(HSC の圧縮強度、引張強度及び弾性係数に及ぼすバインダーや養生条件の影響とこれら 3 種類の基本特性の関係を調べた論文)

(2) “*Basic Research on The Bearing Strength of High Strength Concrete*” (T 2 (a)-2)

(HSC の支圧耐力を圧縮強度、引張強度及び支圧面積で表した式を提案している論文)

(3) “*Mechanical Properties of High-Strength Concrete and High-Strength Steel Bars at Low Temperature*” (T 2 (a)-3)

(HSC と高強度鉄筋の -70°C までの低温下での性状を実験的に調べた論文)

この中で、最初の論文は純粋に材料特性を扱った論文であり、(2)は PC 鋼材定着部の設計、(3)は液化天然ガスの PC タンクの設計を目標としている点で、プレストレストコンクリートと関連がある。

(1)の論文は、HSC の基本的な力学的材料特性を調べるために、シリンダーおよび立方体に対する試験を行い、次のような結論を導いている。

a) 普通ポルトランドセメント (OPC) をシリカフュームと一部置き換えると、材令 450 日での圧縮強度は、置き換えない場合と比べて大きくなる。シリカフュームにより 15 % のセメントを置き換えると圧縮強度と弾性係数に著しい改善効果が認められた。

b) 材令 450 日の HSC の圧縮強度は養生条件の影響を大きく受ける。シリカフュームを使ったコンクリートでは、そうでないものと比べて養生条件にあ

まり敏感ではない。

c) 立方体強度のシリンダー強度に対する比は、立方体強度が大きくなるにしたがって小さくなる。立方体強度が 80 MPa と 120 MPa の間にある場合には、強度差は平均 14 MPa であった。

d) 引張強度 (MPa) と立方体強度 (MPa) の関係は、 $f_t=1.08+0.053 f_{cu}$ で与えられる。

e) 弾性係数 (GPa) と立方体強度 (MPa) の関係は、 $E=3.57+4.05 f_{cu}^{0.50}$ で与えられる。

PC 鋼材の定着部の設計は、重要であるにもかかわらず、設計法の整備が遅れている部分である。特に建築の分野では、狭い範囲に PC 鋼材が錯綜しており、定着部の補強を十分に行うことが難しい。(2)では、PC 鋼材の定着部の設計法を目標に、シリンダーの圧縮試験に基づいて、支圧応力による破壊挙動を、圧縮強度と引張強度の比、支圧面積の比により次の 4 つに分類している。

a) 支圧板直下の 3 軸圧縮破壊

b) 表面にひび割れが生じた後に支圧応力が圧縮強度まで上昇したときの 1 軸圧縮破壊

c) 表面ひび割れと同時に生じる支圧板直下の圧縮破壊

d) 表面ひび割れなしに、内部に生じる水平応力による割裂ひび割れ破壊

これらの分類のそれぞれに対してその支圧強度推定式を提案している。さらには、圧縮強度と引張強度の比が 14 より小さい場合には、現在ある支圧強度算定式が適用できるが、14 を超えると引張強度をパラメータに含む著者らの提案式を適用する必要があるとしている。この提案式は HSC にも適用できると結んでいる。

HSC は、火災に対して弱いと言われているが、まだ十分に研究がなされたわけではない。それでは低温下ではどうか。(3)では、 -70°C までの低温下におけるコンクリートと鉄筋に対する試験結果より次のような結論を導いている。

a) HSC の圧縮強度は、温度が低下するにしたがって増加する。

b) HSC の弾性係数は、圧縮強度が増加するにしたがって増加する。

c) HSC のポアソン比は、圧縮強度が増加するにしたがって増加する。

d) HSC の割裂引張強度は、温度が低下するにしたがい増加する。しかしながら、HSC の圧縮強度に対する割裂引張強度の比は、普通強度コンクリートの場合よりも小さい。

e) 高強度異形鉄筋の降伏点と引張強度は、温度が低下するにしたがい増加する。

f) 高強度異形鉄筋の伸びに対する -78°C までの低

温の影響はほとんどない。

以上のような結論をみるかぎり、HSC あるいは高強度鉄筋の低温下での利用には問題がないようである。

2.2 国内からの論文

本テクニカル・トピックの前半のセッションは、上記の3編の材料関連の論文に続いて、HSC の様々な点に焦点を合わせた国内からの論文が発表された。

HSC は、その材料特性としての高強度のみでなく、打設後早期に強度が得られ、施工期間の短縮につながるという利点がある。打設が容易であればさらに施工上のメリットとなる。続く論文“*Development of Vibration-Free High Strength Lightweight Concrete and Its Application*” (T 2 (a)-4) は、いわゆる高流動化軽量コンクリートの開発とその応用に関する論文である。設計強度は 40 MPa であり、打設後 3 日で、30 MPa 以上の強度に達したとしている。打設試験とこれを 3 スパン全長 110 m の斜張橋に適用した工事について報告している。

HSC のクリープは、普通強度のコンクリートと比べて小さいとされているが、その大きさを適切に予測することは難しい。しかしながら、特に橋梁では施工時から使用時にわたる長期間のクリープ変形を適切に予測することが必要である。“*Creep Behavior of Prestressed Concrete Bridge over Ten Years*” (T 2 (a)-5) は、10 年間にわたる橋梁のクリープ変形を測定した結果をまとめている。この結果、測定されたたわみは、道路示方書にしたがって算定された値の 4 倍となったとしている。この原因として応力とクリープとの間の非線形関係を挙げている。

また、JIS の工業製品に高強度コンクリートを利用すべく、JIS A 5319 が 1992 年に改訂された。この改訂で、断面形状が変更され、700 kgf/cm² までの圧縮強度コンクリートと低レラクセーションストランドの使用が認められた。続く論文“*JIS (Japanese Industrial Standards) Prestressed Concrete Beams with High Strength Concrete for Light Load Slab Bridges*” (T 2 (a)-6) では、最大圧縮強度 806 kgf/cm² までのコンクリートを用いた実大ガーダーの荷重実験を行い、これらの工業製品の性能の確認を行っている。

前半のセッションの最後の発表“*A Study of Structures with Prestressed Concrete Slabs and Truss Members Using High-Strength Concrete*” (T 2 (a)-7) では、80~100 MPa 級の HSC を使用した上下 1 組のスラブを、同じく HSC を使用したトラス部材をウェブとして組み立てたプレキャスト構造の橋梁を提案している。HSC の使用により、部材断面を小さくすることができ、かつ、部材はプレストレス導入による 2 次

応力を低減するように組み立てることができるとしている。また、実際に荷重試験を行い、性能評価を行っている。この結果、スパンの大きな橋梁の重量を低減できる合理的な構造であるとしている。

2.3 海外からの論文

後半のセッションでは、発表はすべて海外からのものであった。最初の 5 編はノルウェーからの論文であり、この中の最初の論文“*Design of Offshore Concrete Structures*” (T 2 (b)-1) は、ノルウェーにおける海洋コンクリート構造物の概説であった。特に現在進行中の 4 つのプロジェクト“Sleipner A, Draugen, Troll East and Heidrun” に焦点をあてている。開会式後の Plenary Session においても Moksnes 氏がノルウェーにおける最近のコンクリート海洋構造物のプロジェクトのレビューを話されたが、この論文では設計の過程をもう少し詳しく記述している。筆者は 6 月にノルウェーの HSC に関する国際シンポジウムに参加した際、ポストシンポジウム・ツアーとしてスタバンガーにある Norwegian Contractors を訪れた。このとき初めてコンクリート石油掘削プラットフォームが建設される様子をビデオで見て、また、工場内を見学してその偉容さに驚いた。例えば、上記の 4 つの構造物のうち“Troll East” は、1995 年に設置される予定であるが、水深 302.9 m の海底に据え付けられる。すなわち、高さ 300 m 以上の数本の巨大な煙突を組み合わせたような構造物となる。この巨大な構造物の基底部分を乾ドックで建設し、海水を注水後、これを海に曳航し、海上でさらに上部構造を建設する。外洋から切り離された波の静かなフィヨルドをもつノルウェーならではの建造法であろう。

次の論文“*Design Rules for High Strength Concrete (HSC)*” (T 2 (b)-2) は、ノルウェーのコンクリート構造物の設計基準 NS 3473 の紹介である。この基準では、コンクリート圧縮強度 100 MPa までを想定しており、我が国における今後の設計基準作成の参考となると考えられるので少し詳細に解説する。この NS 3473 で扱うコンクリート圧縮強度の範囲は、C 25-C 105 (C 105 とは、シリンダー圧縮強度で 94 MPa を想定) であり、軽量コンクリートについては LC 15-LC 85 (LC 85 とはシリンダー圧縮強度で 74 MPa を想定) となっている。設計基準自体は、様々な荷重を受ける様々な形式の構造物に適用できるようになっている。すなわち、一般の建築物から橋梁や海洋構造物までに適用できる。さらには、現場打ちあるいはプレキャストの RC および PC に適用できる。論文の中では高強度コンクリートと普通強度コンクリートについて次のような定義を述べている。「普通強度コンクリートと高強度コンク

表-1 コンクリートの等級と強度

Characteristic value for	Concrete grades									
	LC 15	C 25 LC 25	C 35 LC 35	C 45 LC 45	C 55 LC 55	C 65 LC 65	C 75 LC 75	C 85 LC 85	C 95	C 105
Compressive cube strength f_{ck}	15	25	35	45	55	65	75	85		
Compressive cylinder strength f_{cck}	12	20	28	36	44	54	64	74	84	94
In situ compressive strength f_{cn}	11.2	16.8	22.4	28.0	33.6	39.2	44.8	50.4	56.0	61.6
Tensile strength f_{tk}	1.55	2.10	2.55	2.95	3.30	3.65	4.00	4.30	4.60	4.90
In situ tensile strength f_{tn}	1.0	1.40	1.70	2.00	2.25	2.50	2.60	2.70	2.70	2.70

表-2 材料係数

Limit state		Ultimate limit state	Accidental and fatigue limit state	Serviceability limit state
Reinforced concrete	Concrete : γ_c	1.40 (1.25)	1.20 (1.10)	1.0
	Reinforcement : γ_s	1.25 (1.15)	1.10 (1.00)	1.0
Plain concrete	γ_c	1.75 (1.50)	1.50 (1.25)	1.0

The material coefficients can be taken as the values given in parentheses in the table if the deviations in cross-sectional dimensions are accounted for in the design, in accordance with 11.4.1.

リートの境界は、C 60 であるとされてきた。なぜなら、60 N/mm² までの圧縮強度は特別な方法なしに得られ、これ以上では特別な措置が必要だからである。」

コンクリートの等級とそれに対応し、設計で仮定される圧縮および引張の現場強度 (in-situ strength) が表-1 のように与えられている。

設計で使用される材料強度 (弾性係数を含む) は、表-1 の値を材料係数 γ_m で除した値となる。

すなわち、

$$\text{コンクリート: } E_{cd} = E_c / \gamma_c, f_{cd} = f_{cn} / \gamma_c, f_{td} = f_{tn} / \gamma_c$$

$$\text{鉄筋: } E_{sd} = E_{sk} / \gamma_s, f_{sd} = f_{sk} / \gamma_s$$

材料係数 γ_c, γ_s は、考慮する限界状態によって表-2 のように与えられる。

NS 3473 では、部材強度算定に適用される普通重量コンクリートと軽量骨材コンクリートの一般的な応力-ひずみ関係を図-1 a のように規定している。普通重量コンクリート C 25-C 55 に対しては、図-1 b に示される CEB/FIP Model Code 78 の簡略化された応力-ひずみ関係を使用することができる。さらには中立軸位置が断面内にあるならば、普通密度コンクリート C 25-C

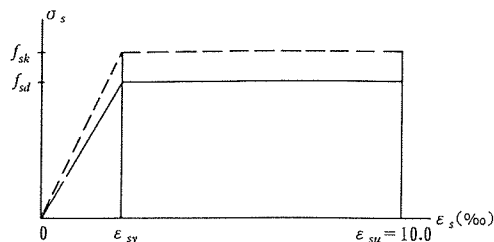


図-2 NS 3570 と NS 3572 に適合する鉄筋の応力-ひずみ関係

55 に対して矩形応力ブロックの使用を許している。

普通鉄筋については、図-2 に示すような応力-ひずみ関係が規定されている。

NS 3473 では 4 種類の限界状態を検証する。

- ・終局限界状態 (Ultimate Limit State : ULS)
- ・使用限界状態 (Serviceability Limit State : SLS)
- ・疲労限界状態 (Fatigue Limit State : FLS)
- ・偶発限界状態 (Accidental Limit State : PLS)

終局限界状態 (ULS)

曲げ終局限界状態を検討する場合に使用するコンク

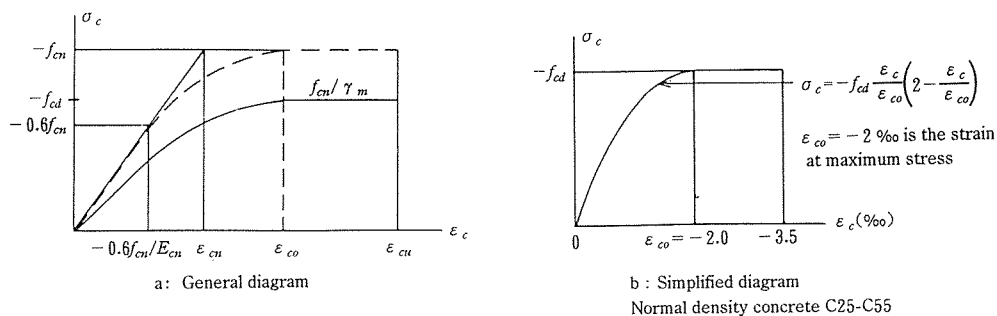


図-1 部材強度算定用コンクリートの応力-ひずみ関係

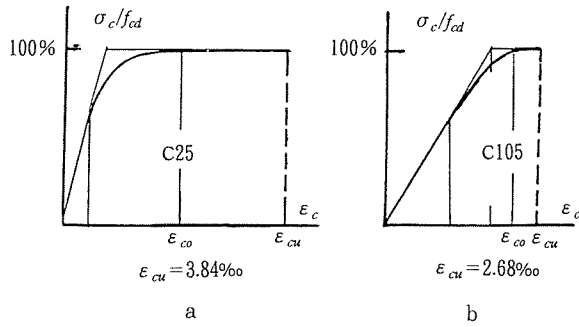


図-3 普通強度コンクリート (C 25) および高強度コンクリート (C 105) の一般的な応力-ひずみ関係

リートの応力-ひずみ関係は、C 25-C 55 に対しては図-3 a, C 105 に対しては図-3 b のようになる。終局ひずみ ϵ_{cu} は、前者が 0.384 %、後者が 0.268 % となり、これらの値は、コンクリートが高強度になるにしたがって終局ひずみが小さくなることを反映している。

せん断については以下の 3 つの方法のうちいずれかを使って検討する。

a : 略算法

コンクリートとせん断補強筋による寄与分の和により全せん断耐力が与えられるとする方法。

b : トラスモデル法

25~60° のコンクリート圧縮ストラットの仮定に基づく方法

c : Refined method (厳密解法)

これは、平面応力状態について開発され、せん断、ねじり、軸力など同時に作用する様々な作用の影響を考慮できるように一般的な定式化がなされている。

疲労限界状態 (FLS)

HSC を利用すると普通強度コンクリートを利用したときと比較して部材の重量と剛性が減少するため、風、波、潮流などの作用による振動の影響を受けやすい。また、NS 3473 は、海洋構造物までを包含している。このため、疲労に関する規定が重要になる。

設計クライテリア

荷重サイクル数が疲労に至るサイクル数よりも小さいことを確認することが、設計のクライテリアとなる。大きさの変化する作用に対しては、累積線形損傷仮定が考慮される。したがって、

$$\sum_{i=1}^k n_i/N_i < \eta$$

ここで、

n_i : サイクル数

N_i : 疲労破壊を起こすサイクル数

i : 実際の応力ブロック

k : 考慮される応力ブロックの数

η : 利用係数 (utilization factor)

不規則な荷重スペクトルは、それぞれ一定の振幅を持つ多くの応力ブロックとして扱われる。

コンクリート

疲労破壊に至るサイクル数を計算するための一般的な式は次のようになる。

$$\log N = C_1 (1 - \sigma_{\max}/f_{rd}) / (1 - \sigma_{\min}/f_{rd})$$

σ_{\max} : 最大の圧縮応力、それぞれの応力ブロック内での平均値として計算される。

σ_{\min} : 最小の圧縮応力、それぞれの応力ブロック内での平均値として計算される (引張の場合には 0 とされる)

f_{rd} : 問題となっている破壊形式についての参照応力

C_1 : コンクリートに対する条件による係数

この式の中で平均応力の影響が考慮されている。

空気中で圧縮を受けるコンクリートに対しては、式は次のようになる。

$$\log N = 12 (1 - \sigma_{\max}/f_{cd}) / (1 - \sigma_{\min}/f_{cd})$$

応力が 0 から最大まで変化する場合、すなわち、 $\sigma_{\min} = 0$ のとき、式は次のようになる。

$$\log N = 12 (1 - \sigma_{\max}/f_{cd})$$

鉄筋

鉄筋の引張破壊についての対応する式は、次のように表される。

$$\log N = C_3 - C_4 \log \Delta\sigma$$

C_3, C_4 : 鉄筋の型による係数

$\Delta\sigma$: 応力範囲 (N/mm²)

まっすぐな異形棒については、 $C_3 = 19.6, C_4 = 6.0$ であり、式は次のようになる。

$$\log N = 19.6 - 6.0 \log \Delta\sigma$$

せん断

せん断に対して疲労をチェックするには、せん断耐力がせん断補強筋なしでも十分なのか、それともせん断補強筋に依存するのかを区別しなければならない。せん断補強筋のない場合の式は次のようになる。

$$\log N = C_1 (1 - V_{\max}/V_{cd}) / (1 - V_{\min}/V_{cd})$$

V_{cd} : 静的な作用に対するせん断耐力

空気中で、せん断補強筋のない場合の疲労せん断耐力の式は、 $V_{\min} = 0$ の場合、次のようになる。

$$\log N = 12 (1 - V_{\max}/V_{cd})$$

すなわち、圧縮を受けるコンクリートに対する式と同じになる。せん断耐力がコンクリートの耐力とせん断補強筋からの寄与分の和となる場合には、コンクリートの寄与分は低減される。すなわち、コンクリートの引張強度に対する値を、静的な作用に対する値の 50 % に低減することになる。

偶発限界状態 (PLS)

偶発限界状態あるいはしばしば進行破壊の限界状態ともいわれるが、これは、火災、船舶の衝突、地震などの作用の組合せよりなる。これらの作用の組合せに対する設計においては普通強度コンクリートと HSC の間の特別な差異はない。

使用限界状態

SLS に対するクライテリアに合うように設計すると、HSC の強度を有効に利用することができない。特に、変形は許容以上となる。プレストレスの利用によりこの問題を解決することができる。

詳細については、NS 3473 自体を見てみないと不明な点も多いが、我が国において近い将来、HSC をも取り込んだ設計基準を整備する際に大いに参考になる。

「The Salhus Floating Bridge」(T 2 (b)-3) は、369 m の斜張橋と 1 246 m の浮橋を組み合わせた橋である。斜張橋の梁と浮橋の浮きは、1 900 kgf/m³ の軽量骨材コンクリートで設計されている。圧縮強度は 55 MPa である。全部で 10 基使用されているコンクリート製の浮きは、長さ 42 m、幅 20.5 m である。浮きの内部は 9 つのブロックに分割されている。このブロックの大きさは、万一隣り合う 2 つのブロックが事故により浸水しても橋は大丈夫なように決められた。底面の厚さは 300 mm、外壁は 310 mm、上面と内壁は 200 mm の厚さとなっている。この浮きは、使用限界状態に対する次のような要求事項に基づいて設計された。

一どの断面においても圧縮域の最小高さは、防水性を確保するために少なくとも 100 mm とする。

一ひび割れ幅は、スプラッシュ域では 0.2 mm 未満、その他では 0.5 mm 未満とする。

続く論文 “The Status of LWA-Concrete and Its Use in Offshore Concrete Floating Platforms” (T 2 (b)-4) もノルウェーからのもので、石油掘削プラットフォームにおける軽量骨材コンクリートの使用状況をレビューしている。特に、軽量骨材コンクリートが、普通重量コンクリートと大きく異なる分野に重点を置いている。一般に軽量骨材コンクリートは、より脆性的で敏感な材料であるため安全で健全な構造物とするためには、設計者や施工者は細心の注意を払う必要がある。しかしながら、適切に利用すれば、浮遊型の海洋プラットフォームでの軽量コンクリートの利用は、経済的、効果的であり、また、耐久性にも富むものとなる。

論文中では、軽量コンクリートの利点と欠点を一覧にして示している。

利点：

- 浮遊型の構造物においてさらに浮力が得られる
- 収縮、クリープ、温度ひずみによるひび割れを改善する
- 変形によるひび割れを減少させる
- 衝撃エネルギーの吸収力に優れる
- 浸透性が低い
- 鉄筋の腐蝕に対する抵抗力が大きい
- 凍結・融解に対する抵抗が大きい
- 氷やその他の浮遊物による浸食作用に対する抵抗力が大きい
- 疲労に対して強い
- 強度のばらつきが小さい
- 運搬、クレーン作業、型枠工事、コンクリート打設および現場保守作業の軽減が図れる

欠点：

- 軽量骨材は高価である
- 引張強度は、より大きく水分量に依存する
- 局所的に集中する荷重に対しては抵抗力は小さくなる
- 軽量コンクリートは、より脆性的である
- 使用される骨材によりより多くのセメントが必要となる
- 水量の制御、練混ぜ、強度とワーカビリティの要求を維持するための管理に注意が必要である
- 多孔性の骨材では、ポンプ打設のコンクリートの場合、特別な措置が必要となる

先の論文でも記したように、ノルウェーの設計基準 NS 3473 は、等級が C 105 までの普通コンクリートと C 85 までの軽量コンクリートに対して設計法を与えている。C 105 あるいは C 85 の数字は、100 mm の立方体の 95 % 信頼強度を表している。

一般的に、普通コンクリートに対する式は、軽量骨材コンクリートにも適用される。ただし、弾性係数や引張強度のような基本的なパラメータの適切な修正が必要である。軽量骨材コンクリートは、普通コンクリートと比べて同強度ならば一般に靱性に劣るとされている。破壊エネルギー試験は、現在、靱性あるいは脆性を測る最良の方法とされており、脆性指標あるいは「特性長さ」は次のように定義される。

$$l_{ch} = \frac{E \cdot G_f}{f_t^2}$$

E：弾性係数，G_f：破壊エネルギー，f_t：引張強度

ノルウェーからの最後の論文 “Design and Construction of Strongasundet Bridge” (T 2 (b)-5) は、HSC を利用した橋梁の設計と施工について報告している。HSC を効果的に利用するため、梁はできるだ

けスレンダーに設計されている。全長は 173 m で、50 m と 70 m のメインスパンよりなる。

せいが高く、非常に薄いウェブに対してコンクリート打設を行うため、コンクリートの調合設計は次のような基準に基づいている。

- 大きなスランプで、とてもよい流動性を示すこと。スランプが、24～26 cm ぐらいとなること
- 分離しないこと
- 最低でも C 65 の強度となること

以上より水とセメント+シリカフェームの比が 0.35 となる調合が選ばれた。最終的なコンクリートのグレードは、C 75 相当となっている。

フランスからの論文 “*New materials and new systems in prestressed concrete for containment vessels*” (T 2 (b)-6) は、原子炉格納容器についての報告である。フランスでは、70 % 以上の電気が、原子力発電により賄われている。1993 年から 2004 年の間にさらに 6 基が建設される予定である。この計画について事故時の圧力 1.0 MPa を考慮に入れた格納容器の新しい設

計が採用された。HPC の使用と今までになかったような大量のテンドンを使用することによって安全性の確保が可能となった。HSC は、高強度ばかりでなくクリープの低減や密実さに重点を置いて利用されるため、この論文では HSC ではなく、あえて HPC (High-Performance Concrete) と呼んでいる。

最後の論文は、発表はされなかったが、高強度あるいは超高強度コンクリートを用いた遠心成型のコンクリートタワーあるいはポールについてのものではあった。これらのポールは、送電線の支柱やアンテナ、照明塔、風車などに利用される。直径は 9 cm から 300 cm までとなっている。コンクリート圧縮強度は通常 50～70 N/mm² であり、シリカフェームや超可塑剤を用いれば 100 N/mm² あるいはこれ以上にもなるとしている。

本シンポジウムのテクニカル・セッションの中では最も少ない 14 編の論文であったが、以上概略を説明したように、様々な論文があった。海洋構造物のように日本の技術者にとっては珍しい応用例も多数示された。