

2 3) 水和による高温にさらされた軽量コンクリートの化学的安定性

CHEMICAL STABILITY OF LWAC EXPOSED TO HIGH HYDRATION GENERATED TEMPERATURES

Marit Rønne, Tor Arne Hammer, Harald Justnes, Inger S Meland and Viggo Jensen

SINTEF Structures and Concrete

and

Sverre Smeplass

Dept. of Structural Engineering at The Norwegian Institute of Technology Trondheim, Norway

要約

最近の研究によると、60°Cをこえる温度でのコンクリートの初期養生は、遅れてのエトリンタイトの生成により水中で供試体の容積膨張をひき起こす。シリカフェームの使用は、膨張を防ぐかあるいは遅らせ、低アルカリセメントの使用は膨張を減じる。顕微鏡観察によると、通常の実験室温度で養生した全供試体と、シリカフェーム混入の供試体は、自己乾燥により起こる通常の収縮クラックを有することがわかった。高温養生したシリカフェームを入れないコンクリートは、収縮クラックではなく骨材とマトリックス界面のクラックを有していた。これらのクラックは部分的にエトリンタイトで満たされ、その結果、全マトリックス中の遅れてのエトリンタイトの生成がマトリックスの容積膨張をひき起こす。

1. まえがき

多くの場合、コンクリートの水和温度を60~70°C以下に保つために非常な努力がなされている。エトリンタイトの生成はポルトランドセメントの水和の自然な現象である。

この数年間のいくつかの研究で次の事がわかった。約70°Cをこえる高温にさらされたポルトランドセメントはエトリンタイトの生成を止め、既に生成したエトリンタイトを分解させる。温度が減少されると二次的なエトリンタイト（遅延エトリンタイトと呼ぶ）が、もし十分な湿度があれば生成する。

本論文は、ノルウェー・トロントハイムのノルウェー工科大学でのSINTEF構造とコンクリートおよび構造工学部門で行われた普通高強度コンクリート(HSC)と軽量コンクリート(LWAC)に対する高温養生の影響を調べた各種プロジェクトの最近の結果の要約である。

2. 実験

実験での主要因は表1のとおりである。コンクリート練り混ぜ後、供試体は1~2時間以内に管理された水槽の温度（表1参照）で打設された。昇温養生終了後、供試体を20°C水中で養生した。

表1. 実験の主要因

Mix no	w/b	Silica fume (%)	Concrete type	Cement type	Resting time ¹⁾ (h)	Max temp (°C)	Tests analysis
1	0.35	0	LWAC D _{max} =16 mm	P30-4A ²⁾	ca 6 ³⁾	20	Compr. strength Water abs Volume change SEM/BS/EDX
2	0.35	5				45	
3	0.45	5				65 85	
4	0.45	0	NDC D _{max} =8 mm	HS65 ²⁾	1.5 ³⁾	20	Linear expansion
5	0.45	0		P30 ⁴⁾		45 70 85	
6	0.40	0	NDC D _{max} =16 mm	P30 ⁴⁾	6 ⁶⁾	20	Volume change Microscopy
7	0.40	8				70 85	

3. 結果と検討

1) 配合 1, 2, 3

配合 1, 2, 3 の圧縮強度を10cm立方体で材齢28日、90、360、720日で測定した。12か月迄、3種のコンクリートは高温にさらされると低い強度の伸び率を示した。最大養生温度=85°Cの場合、シリカフェームを含まないW/B=35%の配合では、1, 2年間でかなりの強度減少を示した。(図1と表1) 圧縮強度データによると、吸水率が増すと強度ロスが大きくなり、容積が最大約2%増えた。図2~4のシリカフェームを含む配合2, 3では、高温養生しても強度ロスや容積膨張はなかった。高温養生した配合1の供試体では吸水と容積増加により膨張反応を示して表面にクラックが認められた。危険な温度は60~88°Cの間にある。

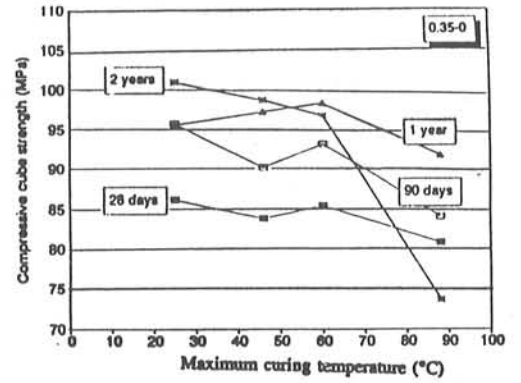


図1. No. 1 W/B = 0.35, SF = 0% の圧縮強度

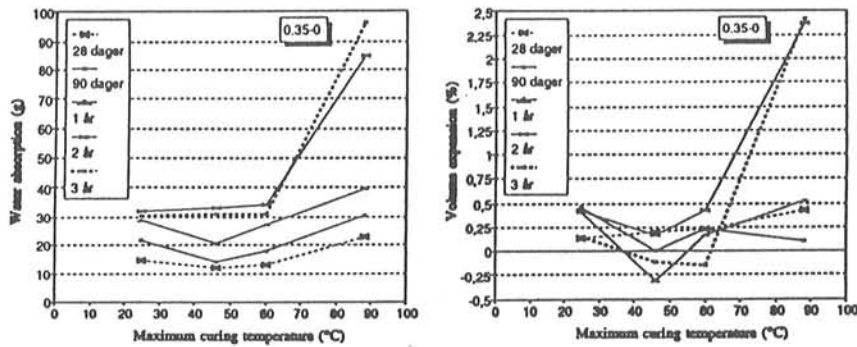


図2. 配合No. 1の吸水率と容積増加 W/B = 0.35, SF = 0%

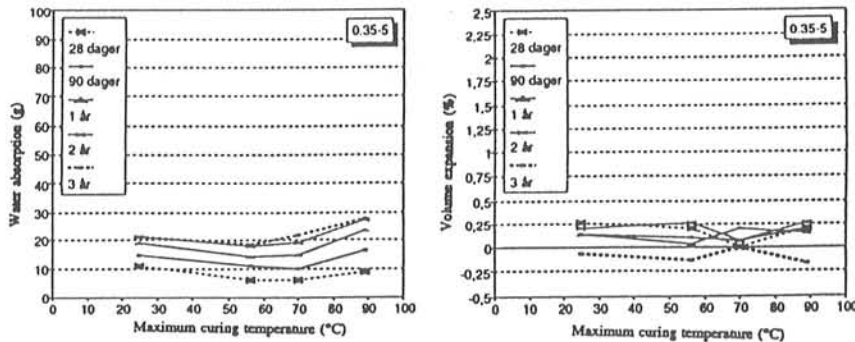


図3. 配合No. 2の吸水率と容積増加 W/B = 0.35, SF = 5%

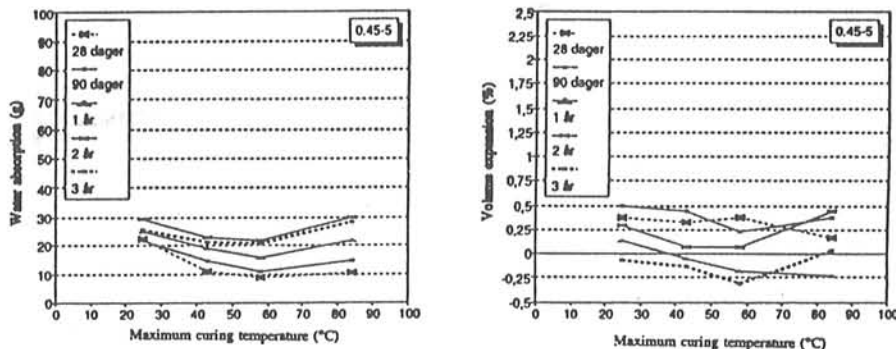


図4. 配合No. 3の吸水率と容積増加 W/B = 0.45, SF = 5%

2) 配合4, 5

2種の異なるセメントタイプ(配合4と5)によるコンクリートの長さ変化は図5, 6のとおりであり、図5, 6によると膨張の危険温度は45と70°Cの間にあるようだ。初期に85°C養生した場合、両セメントとも材齢1年後には、約1%の線膨張に達する。

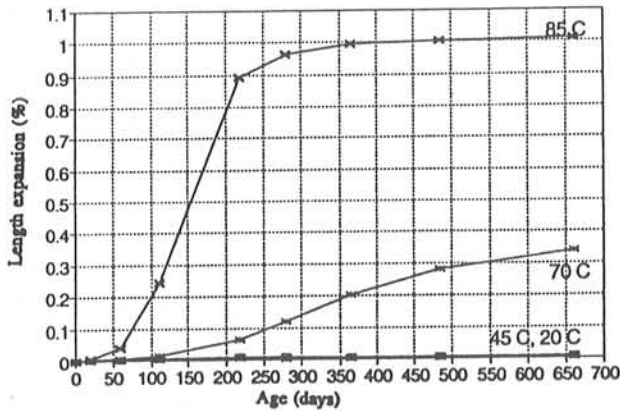


図5. 配合No.4の長さ変化

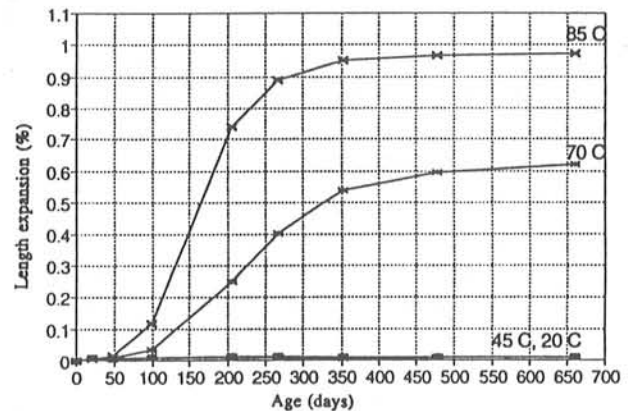


図6. 配合No.5の長さ変化

3) 配合6, 7

最大養生温度20, 70, 85°Cでの2種類のコンクリートの容積膨張を約1年間測定した。20週後、供試体を光学顕微鏡で測定し、クラックパターンとクラック中の付着物を電子顕微鏡で調べた。相対的な容積伸張は図7のとおりである。

図7によると最大85°Cで養生した場合、シリカフェームのないNO.6の配合では、容積増加が材齢50日位で始まり330日で4.5%に達する。70°C養生の同じ配合の供試体も非常に大きい体積膨張を示した。全3シリーズを比較すると、危険温度は60~70°Cと狭くなる事がわかる。図7によると8%のシリカフェーム置換が、高い初期養生温度による容積膨張を防いだり、遅らせる事を示している。

顕微鏡観察によると、普通の実験室温度(20°C)で養生したすべての供試体で普通の収縮ひびわれパターンが認められた。シリカフェームを含むすべての供試体が、このマイクロクラックを示し、これらのクラックは、マトリックス中の骨材から出て来る。

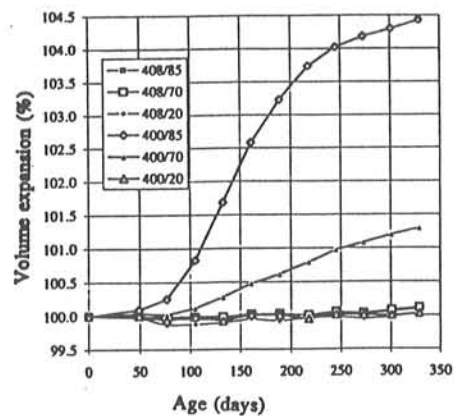


図7. 配合6.7の容積変化

4. 結論

- 1) 高温で初期養生したコンクリートを水中に貯蔵すると、遅れてのエトリングタイトの生成によりコンクリートの容積膨張とクラックをひき起こす。この危険温度は60°Cと70°Cの間にある。
- 2) 上昇温度で養生されたコンクリートは、室温養生の場合より長期材齢の圧縮強度の伸びが低い。
- 3) 圧縮強度の大きいロス、水中養生供試体の容積膨張と一致する。シリカフェームの添加が、体積膨張と強度のロスを防いだり延期させる。
- 4) 低アルカリセメントと普通ポルトランドセメントは、85°Cにおいた場合、ほぼ同じ膨張を示した。しかし70°Cにした場合、低アルカリセメントは高アルカリセメントよりもっと穏やかな膨張を示した。

(抄訳担当 高羽 登)

24) コンクリートの材料特性に及ぼす軽量骨材の特性の影響

THE INFLUENCE OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE PROPERTIES ON MATERIAL PROPERTIES OF THE CONCRETE

Tor Arne Hammer, SINTEF Structures and Concrete and

Sverre Smepllass, The Norwegian Institute of Technology, Dept. of Structures

1) 概要

軽量骨材コンクリートは使用される軽量骨材の高い空隙性により普通コンクリートに無い異なった挙動を示す。軽量骨材の吸水量は普通骨材にくらべかなり大きく、密度はセメントペーストより小さい。これらの特性から軽量コンクリートの製造には特別の配慮が必要である。さらに、骨材の強度や剛性はペーストより低いので、軽量コンクリートの強度発現は遅れ、圧縮強度の上限値やヤング率も低い。またより脆性的な性状を示す。

原料や製造方法の異なる数多くの軽量骨材について試験を実施してきた。比重は1100-1500 kg/m³の範囲である。軽量骨材の空隙率（密度）は極めて重要な要素である。しかし、骨材には吸水性（率や量）強度や剛性など密度とは別の特性の違いがあり、それはコンクリートの密度や強度、収縮等に幾分かの影響がある。

一方、高品質のペーストで製造される軽量コンクリートの耐久性に関しては、軽量骨材のタイプやその密度はさしたる影響はなさそうである。現在の軽量コンクリートの耐久性は同じペースト組成（水結合材比：W/C+S = 0.31-0.40, 5-8%シカユ-ム）の普通コンクリートに比べ同等ないし優れている。

2) はじめに

ノルウエーではここ7-8年の間に、世界で初めての、サイドアンカーを持たず、ポンツーンが軽量コンクリートの二つの浮き橋を含む六本の橋や、石油とガスを生産するための二つの浮体（この種では世界で初めて）を含むいくつかの大型海洋構造物の建設に軽量コンクリートが使用されている。

これらのいくつかのプロジェクトのなかで取り組まれた研究開発において、原料や製法が異なり、また密度や使用時の含水率、吸水特性、形状と表面形状、剛性等コンクリートの特性に少なからず影響の有る特性の異なる軽量骨材の試験がおこなわれた。

ノルウエーではわずかの例外を除き、一般に乾燥した軽量骨材が使用されてきた。その主な理由はコンクリートの製造段階と構造物の使用段階の双方においてコンクリートの密度を自由に選択できることにある。良く知られているように、十分に吸水していない軽量骨材はフレッシュなペーストから調合水を吸水する。その結果ペースト中の有効水量は減少し有効な水結合材比は見かけ（調合水総量で定まる水結合材比）より低下する。軽量骨材の吸水の総量は骨材のタイプにより、また使用時の含水率により異なる。

3) 軽量骨材コンクリートの特性

研究開発されたコンクリートの大部分は天然

の砂と高密度の乾燥軽量骨材を使用した高強度軽量コンクリートである。実際に使用された軽量骨材の種類を表一1に示す。また、それらの品質特性を表一2に示す。

軽量骨材の吸水特性は純水中での骨材の吸水量から満足できる精度で予測できる。実際の方法としては、

表一1：試験に使用された軽量骨材（製造年次）

Trade-name	Dry loose unit weight (kg/m ³)	Bulk spec. gravity (kg/m ³)	1 hour water abs. (weight%)	24 hour water abs. (weight%)
Leca Ord.	600	1300	25	30
Leca 700	700	1250	8	11
Leca 750	750	1300	8	11
Leca 800	800	1450	8	11
Liapor sand	500	850	10	-
Liapor 6	600	1100	7	-
Liapor 7	700	1250	7	-
Liapor 8	800	1500	7	10
Lyttag	800	1500	12	20
Solite	700	1400	9	10

表一2：使用された軽量骨材の特性

Trade-name	Dry loose unit weight (kg/m ³)	Bulk spec. gravity (kg/m ³)	1 hour water abs. (weight%)	24 hour water abs. (weight%)
Leca Ord.	600	1300	25	30
Leca 700	700	1250	8	11
Leca 750	750	1300	8	11
Leca 800	800	1450	8	11
Liapor sand	500	850	10	-
Liapor 6	600	1100	7	-
Liapor 7	700	1250	7	-
Liapor 8	800	1500	7	10
Lyttag	800	1500	12	20
Solite	700	1400	9	10

骨材による最終的な調合水の吸水量は骨材の純水中での1時間吸水量に相当するということである。しかしその吸水性は水結合材比の低下により低下し、水結合材比0.40以上がそのルールがあてはまる限度である。

水結合材比が0.30のコンクリートにおける骨材の吸水量は純水中における吸水の約75%である。絶乾骨材による吸水量の合計はコンクリート1 m³あたり30-90リットルの間で、それによる水結合材比の低下は0.05-0.15となる。乾燥した軽量骨材を使用する際、調合水に吸水補正水を加えると、その補正水を骨材が吸水し終わるまではコンクリートの状態は軟らかくて安定しないものとなる。骨材の吸水の大部分は混練中に起きるが、2分後の吸水は1時間吸水の50-90%である。したがって、吸水速度の早い骨材は混練中に目標のワーカビリティを得られるであろうが、そうでない骨材の場合はより長い混練時間あるいは運搬時間（ドラムミキサー内にて）が必要となる。軽量骨材に侵入する水の一部は骨材内部の空気と置き変わる。その空気量の合計は吸水量の約50%とみられる。これはコンクリートの空気量を2-4%増加させる。

コンクリートの薄い断面の観察からこれらの空気は骨材の表面に比較的粗い気泡として存在している。このような特別のケースではコンクリートの強度は低下し最初の混練の30分後に再混練して得られたコンクリートに対して30%以上の圧縮強度の低下があった。このようなエントラップドエアを排除する方法としては、再攪拌や最初の混練の後の強制振動や混練りの数分前のプレウエッチング等の方法がある。

図-1は6種類の軽量骨材を使用した多数の軽量コンクリートの密度と28日立方供試体試料の圧縮強度との関係を示している。明らかに、密度に対する強度の比（比強度）はG1-G2-G3-G4の順で優れている。G1とG2は最も高い比強度を持っているようである。強度の観点からはG1が最も優れた形状と構造：密度の高い外殻を持つボール：を持っている。最も低い強度性能を持つG3は個々の骨材粒の間の強度のパラツキが大きいと言えそうで、空隙率の大きなパラツキが観察されている。図-2は水結合材比を0.43から0.32に小さくした時の圧縮強度の変化を示す。普通コンクリートに比べ軽量コンクリートの強度の伸びは1/3にすぎない。これは軽量骨材の強度がペースト強度を下回るためである。

図-3は普通コンクリートと何種類かの軽量コンクリートの材令による強度の増進の関係を示している。材令1週での軽量コ

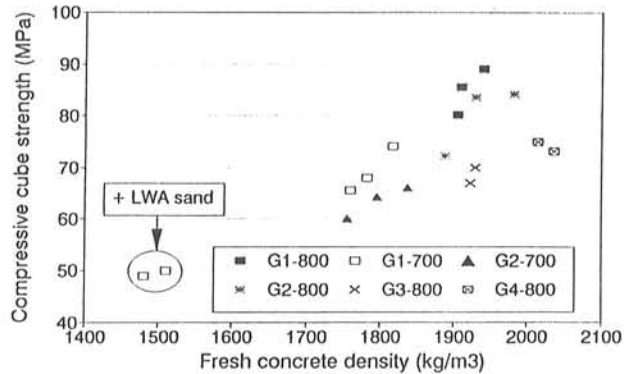


図-1：フレッシュコンクリートの密度と28日立方試料の圧縮強度の関係（骨材は絶乾品を使用）

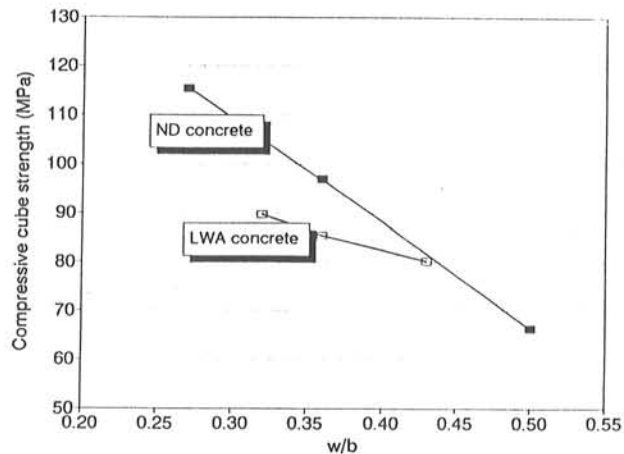


図-2：水結合材比と圧縮強度の関係
LWAはLiapor 8を使用

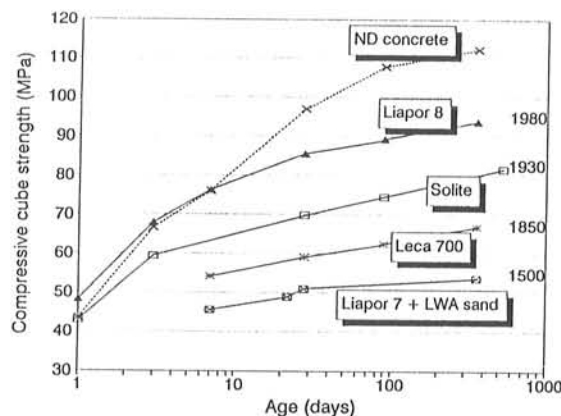


図-3：粗骨材の種類毎の材令と圧縮強度の関係

ンクリートの強度はかなり低いですがそれ以降材令365日までの強度の伸びはさほどの差は無い(L i r p o r 7を除き他の軽量粗骨材の比重はほぼ同じ)。

軽量コンクリートの乾燥収縮の測定結果は、骨材があたかもコンクリート内部の水の貯蔵庫のように働いていることを示している。それゆえ、軽量コンクリートの強度の伸びは骨材の初期の含水率が高ければそれだけ増加すると考えられる。しかしその効用に関する測定の結果はむしろ限定的で、たいして大きな成果は期待できないようである。

ヤング率については図-4に多数の測定結果を示している。この図から圧縮強度とヤング率の間には良い相関があることがわかる。また、骨材のタイプは圧縮強度に比べるとたいした影響がないことを示している。

骨材の使用時の含水量や調合水の吸水による軽量コンクリートの内部の貯水機能は普通コンクリートに比べ乾燥収縮の進行速度を低下させることが証明された。図-5に示すように軽量コンクリートの初期の1年間の乾燥収縮は相当に小さい。

透水性に関しては、コンクリート試験の結果は非常に低いもので、従来の試験方法は殆どの場合適切ではない。それゆえ現在の透水性試験では、キャピラリー空隙による水の毛細管浸透から透水性を評価している。G1、G2について軽量砂を配合したコンクリートおよびG3、G4を配合したコンクリートについて、この方法で試験がなされた。全ての結果は、水道水および海水の双方で、同様なペースト組成の普通コンクリートに比べ浸透深さに差はなかった。G1コンクリートについては4MPの水圧下での試験も行われた。結果は図-6に示すように普通コンクリートと大きな差異は無い。

耐凍害性についてはスエーデン規格S S 1 3 7 2 4 4により評価した。耐凍害性は3%の塩化ナトリウム溶液に曝され凍結融解作用を繰り返した後のコンクリート表面からのスケリングの総量から判定する。24時間で1サイクル、溶液の温度は $20 \pm 5^\circ\text{C} \sim -18 \pm 2^\circ\text{C}$ である。殆どのコンクリートはAEコンクリートでなかったけれども、軽量砂を使用したケースでも耐凍害性試験の結果は良好であった。私自身、L i a p o r 8を使用した同じ水結合材比の軽量コンクリートと普通コンクリートの比較を指導したが、結果は普通コンクリートの方が常にスケリングが多かった。S o l i t e や L y t a g についても同様であった。

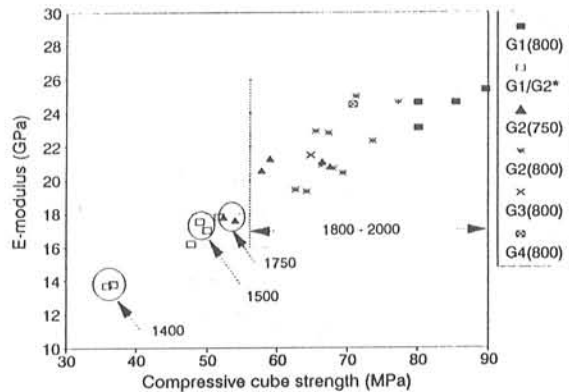


図-4：圧縮強度とヤング率の関係

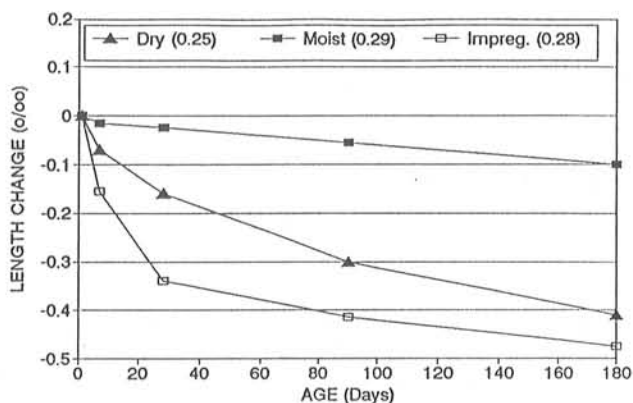


図-5：乾燥、湿潤及び酸に浸した軽量骨材コンクリートの乾燥収縮(50%RH)

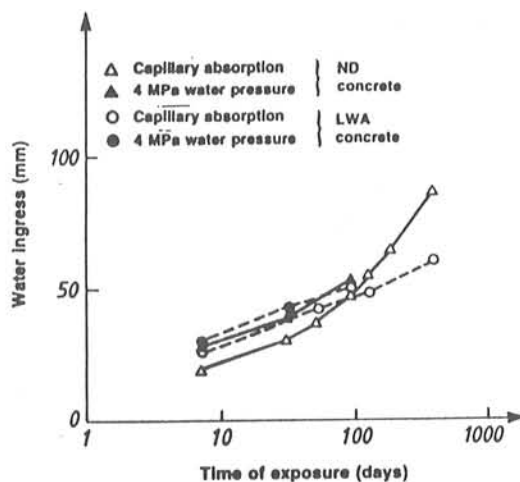


図-6：毛管吸水状態及び水圧下でのコンクリートへの水の浸透

25) 練直ししない軽量コンクリートの強度低下

STRENGTH LOSS IN UN-REMIXED LWA-CONCRETE

Steinar Helland, Magne Maage

Selmer a.s - Oslo, Norway

〔概要〕

近年、高強度軽量骨材コンクリートがノルウェーにおいていくつかの橋や海洋構造物に適用されている。他の国で多量に使用されている軽量コンクリートと比べて、一般により大きな比強度が要求される。加えて、耐火性も要求される。これらの理由により軽量コンクリートを製造する場合、他国では含水骨材を使用するのに対し、ノルウェーでは乾燥骨材を用いるのが一般的である。

1991年の夏、SELMER a. s. は高強度軽量コンクリートを用いて数多くの大型スリップフォームによる試験が実施された。

コンクリートは試験現場で練り混ぜられた。大型試験の前に実施された広範囲にわたる数多くの実験室レベルでの練混ぜと比較して、コンクリートの予期せぬ強度低下が測定され、他の試験現場でも同様な結果であった。

この論文では試験概要、試験結果およびこの現象に関する物理的考察を述べる。

〔試験概要〕

3つの構造物が打設され、各々の高さが7.0、7.0および6.0mであった。軽量コンクリートの合計量は約50 m³であった。1バッチの容量が0.12m³（配合A）および0.26m³（配合B）の強制練りミキサでコンクリートが練り混ぜられた。ねこ車の中のコンクリートは型枠の上部に持ち上げられ、厚さ20cmの型枠内に流し込まれ、パイププレートで締め固められた。

打設から60分後に強度増加のため再振動を与えた。また、60分間ミキサ内にあったコンクリートを型枠内に打設する前に練り直した。この方法によってさらに強度増加を図った。

〔試験結果〕

練直しおよび再振動を実施しない場合に比べ60分後に練り直した場合の圧縮強度は平均して36%増加し、最大で44%増加した。

図-1に配合Aでの練直しの効果、すなわち製造から練り直までの時間と圧縮強度との関係を示す。

また、配合Aのいくつかのバッチでは練直しを実施しなかったが、打設後60分で再振動した場合、平均圧縮強度は35.2MPaで標準偏差4.2MPaであり、打設前30分以上ミキサ内で静置し、練り直したコンクリートの強度は47MPaであった。強度差は12MPaで、練直ししないと約25%強度が低下していることとなった。

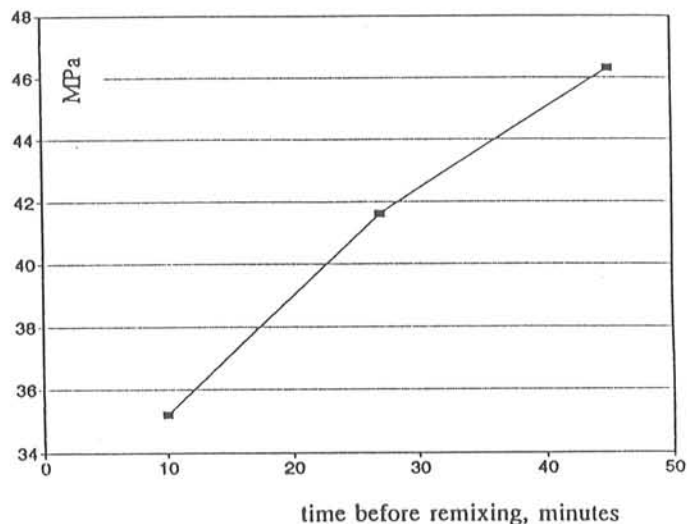


図-1 配合Aの練直しの効果

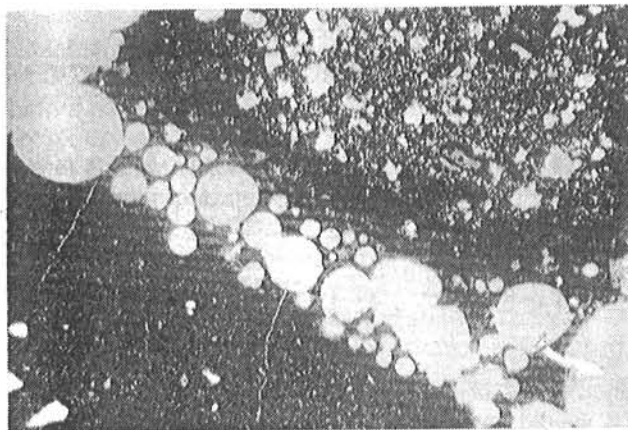
これらの結果から、再振動のみの効果は振動エネルギーおよびコンクリートのコンシステンシーに依存しているが、適切な練直しによっても補われないことが認められた。

練直しを実施していない配合Bでは移動を含むコンクリートの扱い、打設等自動的なコンクリートの再振動が練直しのないことをある程度補っており、練直した場合の強度が59.7MPaであるのに対し、練直しおよび再振動のない場合の強度が52.4MPaと強度低下が少ないことを認めざるを得なかった。

〔考察〕

軽量骨材が飽水していない場合、練混ぜ後骨材とペーストの間で水と空気の相互移動が起こる。この後、混直しを実施しないと著しく強度が低下する。硬化コンクリートの微細構造を調べた結果、この強度低下は軽量骨材からの気泡の排

出が原因であることが判明した。これらの気泡は軽量骨材とペーストの間の遷移帯(Transition zone)の中にリムを形成する。コンクリートが練り直されてこの気泡が排出されなくなると気泡はペースト中に一様に分配されエントレインドエアと同様に作用する。図-2に遷移帯中の気泡を示す。



右上：4.8mm×3.1mmの
軽量骨材

左下：ペースト

図-2 練直ししない軽量コンクリートにおける遷移帯中の気泡

この気泡リムの影響によって強度が低下するため同様に透水性および耐久性も低下すると思われる。

〔結論および推奨〕

一般のコンクリートはミキサ車で現場に運搬される。軽量コンクリートを運搬する場合練直しを実施しなければならない。また、軽量コンクリートを工場で製造する際、コンクリートは練混ぜ後直ちに打設される。この場合大きな欠陥を有するコンクリートを製造してしまうこともある。

この作用を調整するため今日我々は飽水骨材を使用するか、あるいは練混ぜ30分後の練直しを明確に仕様に組み込まねばならない。この対応によって強度を向上し標準偏差を著しく小さくすることができる。

1991年から1993年の間、我々の会社はノルウェー西海岸のBergenに近いNordhordland斜張橋を建設した。乾燥骨材(単位容積質量750kg/m³のレカ)を使用し、40分間の輸送後に練り直した場所打ちコンクリートの性状は次の通りとなった。すなわちノルウェー規格NS 3473に準じて試験を実施し、比重1895kg/m³、圧縮強度の中間値69.9MPaおよび標準偏差2.4MPaとなった。これらの結果はLC-75のタイプに相当する。

他方、北ノルウェーのBodoに近いStovset橋において、われわれは1993年にカンチレバー橋を建設した。このプロジェクトにおいて練直しを避けるため飽水骨材(単位容積質量800kg/m³のリアポール)を使用した。この方法によって我々は約50kg/m³の飽水骨材使用によって比重が増加し最終的な場所打ちコンクリートの比重は1924kg/m³になった。ノルウェー規格NS 3473に準じて試験を実施し、圧縮強度の中間値および標準偏差は64.5MPaおよび3.7MPaとなった。これはaLC-65のタイプに相当する。

両方のプロジェクトでのLWACは公称約39%の水結合材比で打設された。これはStovestの工事では効率的な水結合材比であり、Nordhordland橋では実質31%となった。

ACI-214に準じた‘強度試験結果の評価’では建設会社による試験およびNordhordland橋での実験においても‘優秀’と特徴づけられた。

(抄訳担当 綾田隆史)

26) 高強度軽量コンクリートの凍結融解試験：内部亀裂 v s スケーリング

FROST TESTING HIGH STRENGTH LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE INTERNAL CRACKING VS. SCALING

Stefan Jacobsen, Tor A. Hammer and Erik J. Sellevold

1) 概要

軽量コンクリートの凍害試験での性能において骨材の含水率は重要な要素といえる。これを調査するため相等しいペースト組成（水結合材比=0.35 シリカフューム：結合材=0.08）に、乾燥および飽和軽量骨材（Leca800）と普通骨材にエントレインドエアーを入れたものと入れないものの4つの種類のコンクリートを使用した。乾燥した軽量骨材はASTMC 666 A法による急速凍結融解試験においても、またSS 13 72 44による塩化ナトリウム3%溶液を使用するスケーリング試験においても空気を混入しなくても非常に良い耐久性をもたらす。バキューム法により飽水させた軽量骨材はわずかの凍結融解サイクルで、あるいはスケーリングテストにても酷い亀裂を起こさせるが、比較的スケーリングは少ない。NON-AE普通コンクリートは圧縮強度が105MPaであるにもかかわらず試験を合格できなかった。AE普通コンクリートは双方の試験で優れた性能を示した。水中あるいは塩水中での凍結融解は骨材の吸水を加速させ飽和度を高くすることになる。凍結融解試験中の重量測定から飽和度が100%となるサイクル数を計算した。凍結融解における吸水の加速は氷圧が水をコンクリートや骨材や空隙に押し込めることで説明できる。さらに水は飽和したペーストの中を凍らさずにながれる。骨材の間隔係数Xを紹介しつつ、ダルシーの法則を使用して発生する水圧の範囲を計算した。

2) コンクリート材料と含水率

内部亀裂、スケーリング、および飽和度の上昇を追跡してコンクリートの劣化機構を解明する目的から、4種類のコンクリートを製造した。全て、目標結合材比は0.35でシリカフューム結合材比は0.08で、ペーストはコンクリート容積の32%とし、骨材は次のようにした。

LWA dry	絶乾軽量骨材
LWA wet	真空吸水法による飽和軽量骨材
ND	普通骨材
ND A	普通骨材でAE剤使用
セメント	高強度低アルカリHS 65 (NORCEM)
シリカフューム	Ila-lilleby (Scancem) 乾燥粉
混和剤	メラミン系減水剤、AE剤

Composition of cement and silica fume (% by mass)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	L.O.I.	Spes. surface
C	22.1	4.1	3.4	64.3	1.0	3.1	0.4	0.2	1.3	418 m ² /kg (Blaine)
SF	91.2	0.3	2.8		1.5	0.5	0.7	0.4	1.7	15-20 m ² /g (BET)

表一 1 : 使用した骨材の物性

Aggregate	Fraction (mm)	Density (kg/m ³)	Moisture content (% by mass)
ND (Årdal)	0-3	2670 (dry)	2.8
ND (Årdal)	0-16 1)	2670 (dry)	1.5
Leca 800 dry	4-12	1425	0
Leca 800 wet	4-12	1862	30.7 (43.7 vol-%)

1) Grading according to Norwegian Standard NS 3099

表一 1 に骨材の物性値を示す。絶乾軽量骨材のフレッシュペースト中での吸水は骨材重量の6.9%と見積もられた。

表一 2 にコンクリートの調合とフレッシュコンクリートの物性を示す。圧縮強度試験用に100mm立方の、凍害試験用に150mm立方の、ASTMC 666 A法の試験用に100×100×500mmの試料を作成した。

表一 3 に硬化コンクリートの特性を示す。

表一 2 : 調合したコンクリートの配合とフレッシュ性状

Material/property	LWA dry	LWA wet	ND	ND A
C	428	426	440	401
SF	36.9	36.7	37.9	34.5
Aggreg.: ND	585	583	1765	1609
LWA	679 (incl. 6.9 % abs)	826 (water saturated)	-	-
SP	7.80	6.32	11.92	8.12
AEA	-	-	-	0.53
W/(C+SF)	0.35 (corrected: 0.33)	0.35	0.35	0.35
Fresh concrete:				
Density (kg/m ³)	1910	2020	2410	2160
Slump (mm)	90	120	210	150
Air (vol-%)	2.4	2.8	1.4	11.8

表一 3 : 硬化コンクリートの特性

Property	LWA dry	LWA wet	ND	ND A
f _{c28} (MPa)	74.5	72.3	104.7	65.2
Density (kg/m ³)	1920	2030	2470	2280
w _e (vol-% of concrete)	14.4	28.5	11.1	12.2
Absorption at curing				
(Vol-% of paste)	3.1	5.0	4.5	8.1
Air voids ASTM C457				
A (vol-%)	1.7	1.9	2.0	13.2
\bar{L} (mm)	1.03	1.30	1.04	0.16
α (mm ⁻¹)	8.1	5.8	7.8	13.3

絶乾骨材コンクリートの水結合材比は骨材の吸水が当初見込みの6.9%より幾分大きかったようで修正の必要がある。LWAの吸水が見込みより大きくなるとコンクリートの密度を増加させる。計算の結果吸水の増分は1.1%_{vol}/m³で修正後の水結合材比は0.33となった。LWA dryコンとLWA wetコンのペーストの含水率が飽和状態で同じと見なせば、凍結融解試験前におけるそれぞれの骨材の含水量の差は28.5-14.4=14.1 vol% of concrete (LWA dryの含水率は8.6%、LWA wetの飽和度を100%とみなせばLWA dryの飽和度は28%)となる。

表一 3は水中養生中(10cm立方試料脱型後から28日まで)のコンクリートの自己乾燥による吸水量も示している。LWA dryコンよりLWA wetコンのほうが吸水量が多いことに注目して欲しい。これは驚くべきことで、一部の人は自己乾燥の結果少なくとも何がしかの水が湿潤骨材から吸い出される(その結果骨材がもつ水を減じる)と期待しているようだからだ。さらには、普通AEコンクリートの養生中の吸水が最も大きいこともわかる。NON-AEコンクリートのペーストは飽和状態とすれば、AEコンクリートの吸水の増分1.2 vol% (コンクリートの) (8.1-4.5=3.6 vol% of past =1.2 vol% of concrete)はペーストの空隙を水が満たしていると考えられ、飽和度(凍結融解試験前の)は1.2/13.2=0.091となる。

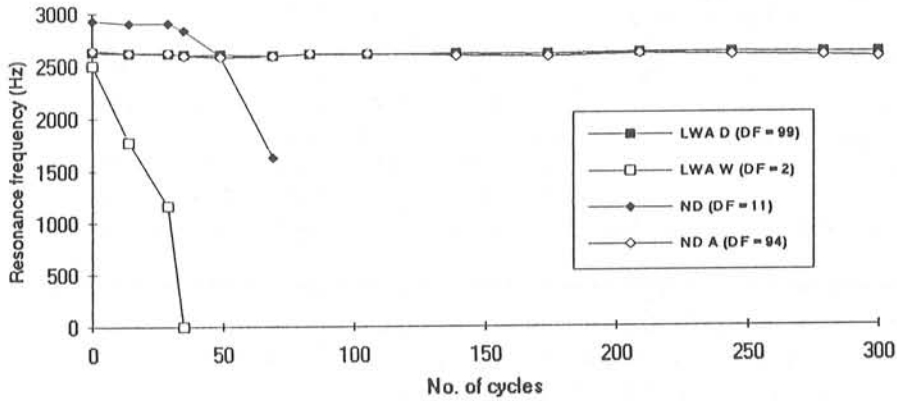
図一 1にASTM C 666による相対動弾性係数と凍結融解サイクル数の関係を示す。

図一 2にSS 13 72 44によるスケーリングと凍結融解サイクルの関係を示す。

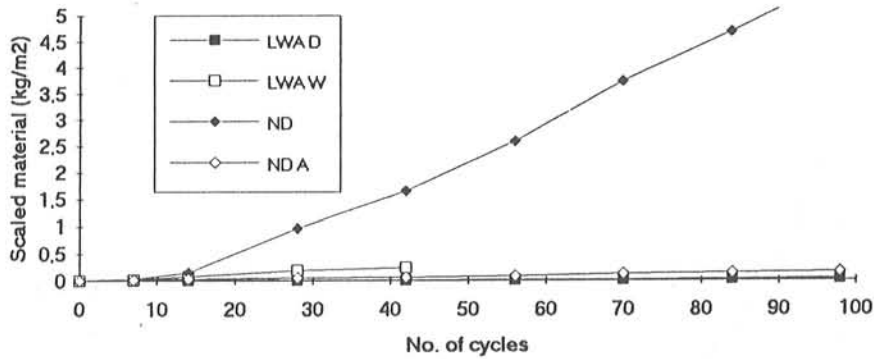
表一 4および表一 5は吸水率の変化を含むそれぞれの試験結果のデータを示す。

既に他の実験にて確認済みではあるが、NON-AEコンクリートでも乾燥LWAは双方の凍害試験にて非常に良い性能を示した。真空飽和LWAは双方の試験において低サイクルで激しい内部亀裂が生じた。明らかに飽和LWAは凍結時に破壊的な圧力を生じさせる。スケーリングに関しては飽和LWAが乾燥LWAに比し幾分多い程度である。普通コンクリートはその圧縮強度は104.7MPaであるにも拘わらず双方の試験に合格するにはエントレインドエアを必要とした。大きくスケーリングを起こした普通コンクリートと比較的スケーリングの少ないLWA wetコンクリートを比較するとペーストの品質が良ければスケーリングに対する抵抗性が良いとは限らないようである。明らかに骨材の特性(空隙率、強度、付着性状他)が拘わっているであろう。さらにLWA dryとND Aの双方のコンクリートも二つの試験で良い性能を示し

たが、双方とも試験サイクルの増加に伴い連続的に飽和度が上昇しているが注目される。ASTM試験300サイクル後のLWA dryとNDA（いずれも劣化していない）はそれぞれコンクリートボリュームの1.1%、1.3%の水分を吸水した。双方の試験において、内部亀裂の酷いコンクリートはそうでないコンクリートに比べ高い吸水率が確認された。



図一 1 : ASTM C666 A 法によるサイクル数と動弾性係数の関係



図一 2 : SS 13 72 44 法によるサイクル数とスケーリングの関係

表一 4 : ASTM C666 A 法による凍結融解試験の結果

	Concrete	0	35	69	105	139	209	300	cycles
Resonance frequency (Hz)	LWA dry	2625	2600	2590	2600	2610	2620	2610	DF=99
	LWA wet	2500	0						DF=2
	ND	2925	2830	1630					DF=11
	NDA	2640	2590	2580	2610	2690	2600	2560	DF=94
Absorption (vol-%)	LWA dry	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1.1	
	LWA wet	0	3.7						
	ND	0	1.3	1.3					
	NDA	0	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	
Scaling (kg/m ²)	LWA dry	0	0.01	0.02	0.03	0.05	0.09	0.14	
	LWA wet	0	0.12						
	ND	0	0.01	0.02					
	NDA	0	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.20	

表-5 : SS 13 72 44 法による
塩水中におけるスケーリング試験の結果

	Concrete	-3 d	0	7	14	28	56	98 cycles
Scaling (kg/m ²)	LWA dry	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
	LWA wet	-	-	0.02	0.08	0.20	1)	-
	ND	-	-	0.04	0.16	0.98	2.59	5.69
	ND A	-	-	0.02	0.03	0.06	0.09	0.16
Absorption (kg/m ²)	LWA dry	0.32	0	0.11	0.15	0.21	0.27	0.34
	LWA wet	0.32	0	0.13	0.29	1.14	-	-
	ND	0.13	0	0.15	0.74	1.40	1.75	1.97
	ND A	0.45	0	0.10	0.15	0.22	0.32	0.40
Pulse velocity (m/s)	LWA dry		4050	4020	4030	4030	4030	4040
	LWA wet		3910	3890	3880	3810	2)	
	ND		4380	4360	4120	3410	3780	4010
	ND A		4070	4030	4030	4040	4060	4070

1) stopped at 42 cycles (0.24 kg/m²) due to internal cracking 2) 3520 m/s at stop 42 cy

コンクリートの中に水を運ぶという結果になるメカニズムは正確には知られていない。そして、多分関係している現象はただ一つだけではあるまい。我々はそれは圧力によって引き起こされていると見なしている。ASTM C 666 A 法の試験の間、水は凍結時に凍結先端の進行に伴い内部へ向かう力を与えられる。それは試料を取り囲む1~3mmの水から始まる。Powersによれば水中の凍結融解による吸水の増大は融解サイクルの部分に試料の表面近傍の圧力減少によるという。彼の考えでは、表面近傍の空隙中の氷が解けた時、表面は水で覆われているので圧力が減少するという。現在の研究では我々はペースト中の水は試験範囲の温度では凍らなるとみなしている。それ故、吸水についてのPowersの説明はそのまま適用できるものではない。

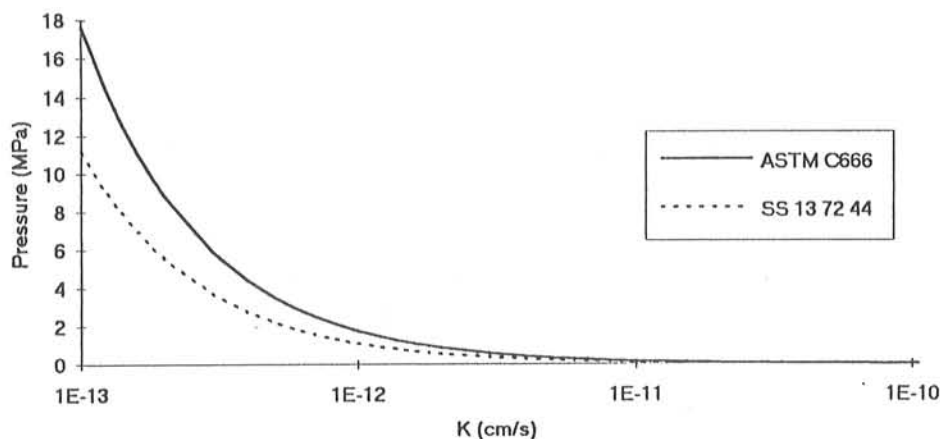


図-3 : 骨材間隔係数を使用しDarcyの法則から算出した凍結時の透水係数と圧力の関係

Darcyの法則を適用するため、ペーストは水で飽和していると考えた。水の形成により周囲の水の圧力が増加するとき、まだ凍っていない流動可能な水によりそれと同じ圧力がペースト中に作用すると考え、軽量コンクリートのモデルから計算される骨材間隔係数を用いDarcyの法則を適用してこの圧力を計算した。図-3に透水係数と圧力 Δh の関係を示す。実際のコンクリートの透水係数は 10^{-11} から 10^{-13} の範囲であることより、凍結融解中に記録した水の増加にはかなり高い圧力が必要なことを予告している。圧力は k とサイクル数に対し特に感度が高い。より正確に Δh の値を計算するためにはより正確な実験データが必要である。 Δh がコンクリートの引張強度を越えた時破壊が生ずるのであろう。亀裂の形成は k の増大により図-3の曲線を変化させるであろう。そのことは水の侵入の増大を意味する。亀裂はまた凍結する水をペースト中に導く役目もする。

(抄訳担当 藤木英一)

27) 塩分環境下における人工軽量骨材コンクリートの寿命予測

SERVICE LIFE PREDICTION OF LWA CONCRETE IN CHLORIDE ENVIRONMENT

Magne Maage, Steinar Helland and Jan Erik Carlsen

SELMER A.S, Norway

1. はじめに

LWA コンクリートは海洋環境に曝されるような構造物用の材料としては比較的新しい材料である。このような環境下では、塩化物の浸入による鉄筋の腐食が問題となる。したがって、新設構造物および既設の構造物の寿命予測が重要となる。既設構造物へのモデルの利用は供用後数年を経過した実構造物の調査と実験に基づいている。これらの結果はモデルへの入力として使用した。本論文における寿命は、鉄筋位置における塩化物量が腐食を開始するために十分な塩化物量となる時間として定義した。

2. 塩化物の浸入を防ぐための配合

材料の塩化物の浸入に対する抵抗性は塩化物イオンの拡散係数Dにより定義される。この拡散係数は、使用材料と水結合材比により決定され、時間と共に小さくなる。この係数の値および時間的な変化はすでにわかっている。また、コンクリートのかぶりも構造物の寿命に対して重要であり、これについてはここでは検討しないが、モデルの入力としては使用した。限界の塩化物量 C_{cr} もまた、寿命の予測のために重要なパラメーターである。このパラメーターも使用材料および局所的な気候により決まる。

3. 理論的背景

拡散係数Dは時間に依存しない係数であると考えられていたが、室内試験と既存構造物の試験からコンクリートの積算材齢に依存し、両対数座標上で直線で表されることがわかった。この関係は式(1)で表される。

$$D(t) = D_0 (t_0/t)^k \quad (1)$$

ここに、 $D(t)$: 時間依存の拡散係数、 t : コンクリートの積算材齢、 t_0 : 代表的なコンクリートの曝露開始時の材齢までの積算材齢、 D_0 、 k : 実験結果から最小自乗法により求めた定数

塩化物イオンの拡散はセメントペーストの毛管空隙で起こり、この空隙は積算材齢とともに減少することから、拡散係数は時間に依存するものとした。拡散係数の時間的な変化における、材料と環境の影響は材料や環境毎に係数を決めることにより考慮している。拡散係数をこのように考え、FICKの第2法則を用いて、任意の時間および位置の塩化物量を計算する。このようにして計算される塩化物量が鉄筋の位置で限界の塩化物量を越える時間を求めることで、寿命を予測する。式(2)に寿命予測式を示す。

$$t_{LT} = t_c (c / (\xi (t_c D_{ac})^{0.5}))^{2 / (1 - \alpha)} \quad (2)$$

ここに、 t_{LT} : 寿命 (years)、 t_c : 調査材齢 (years)、 c : かぶり (mm)、 D_{ac} : 材齢 t_c における実構造物の塩化物量分布から求めた拡散係数 (mm^2/year)、 α : 拡散係数の経時変化を考慮するための係数、 C_{sa} : 表面塩化物量 (% of binder)、 C_i : 初期塩化物量 (% of binder)、 C_{cr} : 腐食限界塩化物量 (% of binder)、 ξ : 式(3)で定義される係数

$$\xi = 2\text{erfc}^{-1} ((C_{cr} - C_i) / (C_{sa} - C_i)) \quad (3)$$

4. 構造物用 LWA コンクリートの実験

4.1 室内試験

表-1に示す4種の配合を用いて室内試験を行った。これらの配合ではW/Cは比較的low、高品質のコンクリートである。これらは、それぞれ異なる養生期間のあと、それぞれの塩化物条件の環境に曝露した。

4.2 既設構造物に関する試験

2つの既設構造物に関して試験を行なった。

表-1の配合GのLWAコンクリートは斜張橋に使用されたものである。配合EのLWAコンクリートは、プレストレストカンチレバー橋の中央部に使用された。これらの実構造物においては多くの試験体が作られ、それぞれ異なる養生の後、橋の近くの海洋条件下に曝露した。

5. 結果

5.1 塩化物の負荷、表面塩化物量 Cs

コンクリート表面の塩化物の濃度はコンクリートの有効な空隙量によって決まる。Csは曝露開始後、時間と共に増加し一定値に近づくが、図-1に示すように、曝露前の養生期間によりLWAの表面塩分量Csの変化が異なる。28日養生でフライアッシュを配合したものは、配合しないものと比較してやや小さいCsであった。表-2に実環境に500日間曝露した場合の表面塩分量の測定結果を示す。一般的な傾向として、浸水したLWAコンクリートは、飛沫帯に曝露したコンクリートよりもやや大きなCsであった。また、LWAコンクリートでは、NDコンクリートと比較してCsは大きい。ただし、同じ量の塩化物であっても、密度の軽いLWAではCsが見掛け上大きく計算されたり、LWAの空隙が海水で満たされることにより、塩化物量が多くなることが考えられる。

5.2 拡散係数

図-2のように、養生期間が短い場合には、短期の曝露期間において拡散係数に大きな影響を及ぼす。曝露期間が長期になれば、養生期間は拡散係数に影響を及ぼさない。これは、曝露開始時の多くの塩化物の浸透は長期間の塩化物の浸透のパラメーターには影響を及ぼさないことを示している。

5.3 係数 α

係数 α は塩化物拡散係数が時間とともにどのように変化するかを示す係数である。実験におけるこの係数の平均値は、0.70程度であり、この値は、W/Cの小さな普通コンクリートと比較して現実的な値である。

5.4 寿命の予測

Nordhordland Bridge の予測例を示す。

1) 水中の場合

表-1 軽量コンクリートの配合

	Mixtures (kg/m ³)			
	A	C	E	G
Cement, HS65	410	446	425	430
Silica fume	20	40	30	35
Natural sand	700	--	685	630
LWA sand	--	137	--	--
High Strength LWA	581	566	520	570
Fibrin 12 mm PP-fibre	1	--	--	--
Water reducer and superplasticizer	7	6	6	9
Air entraining ag.	yes	yes	yes	yes
Effective water	163	175	173	155
Effective w/c-ratio	0.38	0.36	0.38	0.33
Air content (%)	4	4	4	2.5
Density, fresh (kg/m ³)	1900	1450	1850	1850

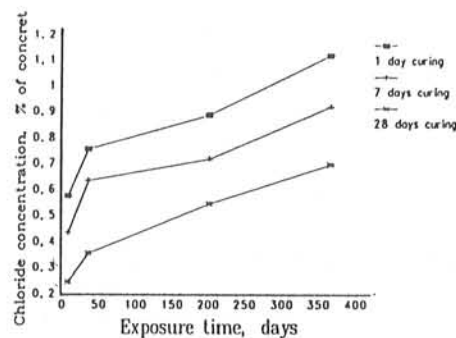


図-1 曝露前の養生期間が表面塩化物量に及ぼす影響

表-2 実環境における表面塩化物量の変化

	Curing before exposure (d)				
	1	5	7	28	35
Splash zone	0.95	1.30	0.85	0.50	0.60
Submerged	1.05	1.10	1.10	1.00	--

条件： $t_c = 1.46\text{year}$, $c = 50\text{mm}$, $D_{ac} = 30\text{mm}^2/\text{year}$,
 $\alpha = 0.70$, $C_{sa} = 4.50\%$ of binder,
 $C_i = 0\%$ of binder, $C_{cr} = 0.40\%$ of binder

寿命： $t_{LT} = 2,968$ years

2) 飛沫帯の場合

条件： $t_c = 1.46\text{year}$, $c = 50\text{mm}$, $D_{ac} = 30\text{mm}^2/\text{year}$,
 $\alpha = 0.70$, $C_{sa} = 2.40\%$ of binder,
 $C_i = 0\%$ of binder, $C_{cr} = 0.40\%$ of binder

寿命： $t_{LT} = 11,773$ years

塩化物の浸透の観点から見ると、どちらの予測結果も非常に長い寿命となっている。

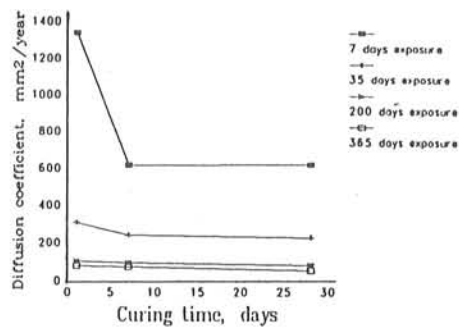


図-2 塩化物イオン拡散係数の経時変化に及ぼす養生期間の影響

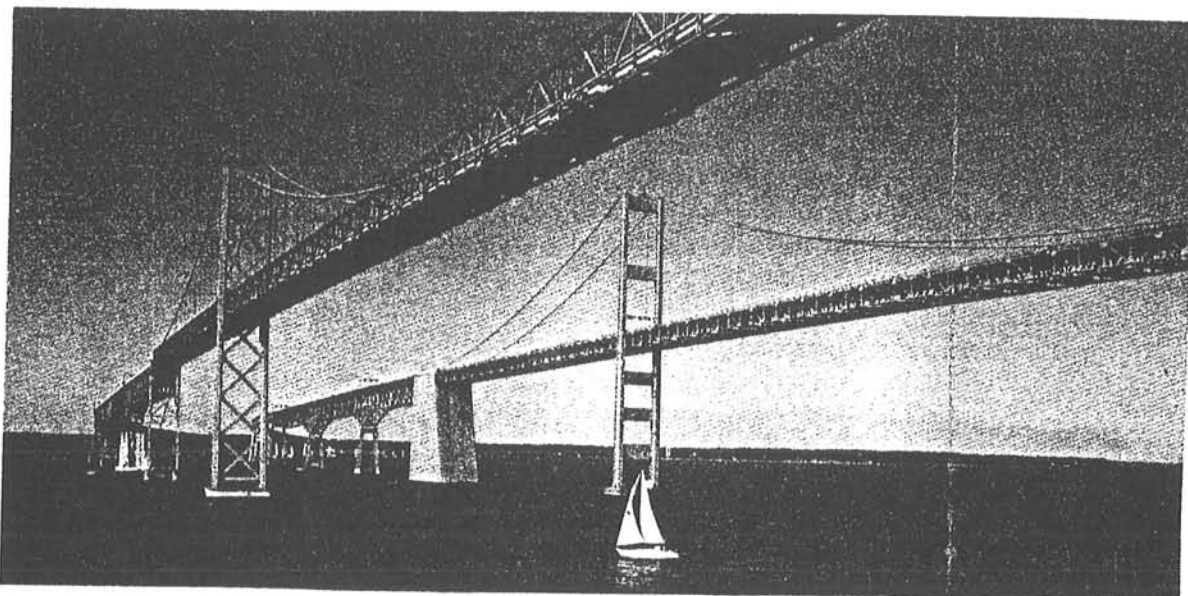
6. 結論

- 1) 海水に曝されるコンクリートの寿命を予測するための数学的-経験的モデルを示した。
- 2) モデルは、供用後数年を経過した構造物の調査や採取したコアの試験を基に、既設構造物の寿命の予測に使用できる。
- 3) モデルはまた、新設の構造物のコンクリートの配合設計に使用することができる。
- 4) 室内試験および実構造物の試験によると、海水に曝す前の養生期間は長期間の塩化物の拡散係数にはあまり影響を及ぼさない。
- 5) 表面塩化物の濃縮は飛沫帯に比べて海中部の方が大きい。
- 6) モデルの重要なパラメーターは室内試験と屋外曝露コンクリートの試験により決定した。

(抄訳担当 武田 均)

美しい橋 (William Preston Lane Bridge)

アメリカのChesapeakeにある橋梁で東橋が1952年に、西橋が1975年完成。
 全ての床版とバリアーに軽量1種コンクリートを使用。 出典: ESCSI情報



28) 海水および酸性溶液中に10年間曝露された軽量コンクリートの耐久性

THE DURABILITY OF LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETES AFTER 10 YEARS IN MARINE AND ACID WATER ENVIRONMENTS

Geoffrey J Osborne

1. はじめに

この論文は著者が既に報告したり軽量コンクリートの長期的耐久性に関する研究の2年までのデータを更新するものである。軽量骨材としては、球状高炉スラグおよび粉砕し焼結したアッシュ（焼結PFA）を使用している。この研究では、球状スラグコンクリートの性質および挙動について焼結PFAコンクリートおよび同じ配合の普通コンクリートを比較検討した。これらのコンクリートは、海洋および酸性溶液の環境への2年間の曝露において、普通コンクリートと同等な耐久性を示していた。

2. 実験概要

軽量骨材として球状スラグと焼結PFAを使用し、自然骨材としてHam River産の砂と砂利を使用した。乾燥かさ比重や吸水率などの物理的な特性値および粉砕や分級の結果は、BSの要求品質に適合していた。セメントはC₃A量8.8%のOPCを使用した。このセメントを選択したのは、中間量のC₃Aを含むセメントを使用したコンクリートは比較的耐硫酸塩性や耐海水性が良く、弱い酸性溶液や海水による過度の影響を受けないためである。したがって、観察される軽量骨材と通常の骨材の挙動の相違は、骨材の性質と特性によるものであるとすることができる。

コンクリートの配合を表-1に示す。配合は、セメント量が少ない場合と多い場合およびその中間の配合とした。焼結PFAコンクリートと細骨材として砂を使用した場合の28日強度は、20、30および40MPaとし、これに対応する目標強度をそれぞれ27.5、37.5および47.5MPaとした。

試験は圧縮強度および曲げ強度、動弾性係数と体積安定性（volume stability、BS1881:Parts 4, 5、1970）、および超音波伝播速度の測定などを行なった。また、耐久性試験には凍結融解試験も加えた。

曝露環境は、海水と弱酸性溶液中の2つの促進環境とした。海水の環境は飛沫帯、感潮部および海中部と

表-1 コンクリートの配合

Mix No	Aggregates		Proportions (kg)				Wet mix properties					Comments
	Coarse	Fine	Aggregates		Cement OPC	Total water (free w/c)	Density (kg/m ³)	Cement content (kg/m ³)	Slump (mm)	Com- pacting factor	VB time (s)	
			Coarse	Fine								
PB13	Sint. PFA	H R sand	2.484	2.157	1.00	0.97 (0.62)	1845	280	12	0.90	3	Good workable mix even though low slump
L9	Sint. PFA	H R sand	1.950	1.500	1.00	0.75 (0.49)	1875	360	15	0.89	4	Similar to PB13 mix
PA10	PSC	H R- sand	1.885	1.500	1.00	0.64 (0.49)	1930	385	20	0.88	4	Reasonable workability
PE18	PSC	PSF(Cr)	1.824	1.500	1.00	0.72 (0.49)	1850	365	5	0.93	3	Slump low as mix cohesive
PG20	H R G	H R sand	3.405	1.500	1.00	0.55 (0.49)	2330	360	75	0.93	3	Good workable mix
PD19	HRG	HRS	2.739	1.022	1.00	0.46	2350	450	48	0.93	4	(corrosion prisms Mix 19)
PD17	Sint. PFA	H R sand	1.566	1.020	1.00	0.63 (0.39)	1870	445	44	0.94	3	Reinforcement prisms for corrosion tests (Mix 17)
PC16	PSC	PSF(Cr)	1.467	1.022	1.00	0.58 (0.39)	1870	460	10	0.87	5	Good workable mix even though CF = 0.87 (Corrosion prisms Mix 15)

した。海水のpHは7.9~8.2であった。年平均の気温および水温は10~11℃であり、冬期には、飛沫帯および感潮部に曝露した供試体は凍結融解作用を受ける。弱酸性溶液の環境は、泥炭からの高濃度のフミン酸により、3.5~4.5という低いpH環境であった。

塩化物の浸透量の増加と鉄筋の腐食を評価するために、鉄筋を埋め込んだ立方体の試験体を使用した。鉄筋のかぶりは10mmおよび20mmとした。供試体は、分析前に少なくとも28日間実験室の気中で乾燥したのち、粉末試料を採取し、全塩化物量および酸化カルシウム量を分析した。

3. 結果および考察

試験結果を表-2に示す。焼結PFAコンクリートの最低強度は、酸性溶液に完全に浸漬していた供試体の強度であった。また、感潮部および海中部の供試体もまた、実験室における水中養生供試体と比較して強度が減少していた。これは、セメント硬化体の化学的腐食と気象条件による遅い強度発現のためであると考えられる。

飛沫帯に曝露した球状スラグコンクリートは劣化の兆候がなく、実験室の水中養生供試体と同等かそれ以上の強度を有していた。ただし、粉碎スラグ細骨材を使用した2種のコンクリートでは、5年で僅かに強度の減少が見られた。

中性化深さはフェノールフタレインアルコールにより測定した。曝露5年では、焼結PFAコンクリートの中性化深さが3.5mmであった以外は、どの供試体も1mm以下であった。ただし、焼結PFAの10年後の中性化深さは4mm迄しか進行しておらず、また他の供試体は1mmを越える程度であった。したがって、セメントが少ない場合でも、中性化は問題とならない。

凍結融解試験の結果では、焼結PFAコンクリートの耐凍害性は良好であったが、球状スラグコンクリートは使用細骨材によって品質が変化し、また、練混ぜ前の骨材の吸水の程度によっても品質が変化した。しかしながら、どの骨材を使用したコンクリートも、空気を連行しない場合であっても、凍結融解による劣化は軽微であった。

塩化物の浸透量はどちらの軽量コンクリートも同等であったが、普通コンクリートと比較するとやや大きかった。

表-2 曝露5年および10年の耐久性に関する試験結果

Concrete Mix Data			Cement content (kg/m ³)	Compressive Strength (MPa) *						Percentage strength retained			Attack rating (mm)			
Mix No.	Aggregate			Age of test (years)	Water at 20 C (control)	Marine Environment			Soft Acid Water	Marine Environment			Marine		Soft Acid Water	
	Coarse	Fine	Spray Zone			Tidal Zone	Full Imm.	Spray Zone		Tidal Zone	Full Imm.	Tidal Zone	Full Imm.			
PB 13	Sint. PFA	HR Sand	280	5	46.5	50.5	34.5	29.5	33.0	109	74	63	71	<4	<4	18
			10	47.5	53.0	29.0	31.5	27.0	111	61	66	56	45	10	21	
L 9	Sint. PFA	HR Sand	360	5	56.5	60.5	45.0	44.5	41.5	107	80	79	73	n.d	n.d	n.d
			10	58.5	63.0	42.5	44.5	37.5	107	72	76	64	13	8.5	<4	
PA 10	PSC	HR Sand	385	5	46.0	48.5	37.5	38.5	38.5	105	82	84	84	n.d	n.d	n.d
			10	51.0	51.0	34.0	35.0	n.d	100	67	69	n.d	45	26	<4	
PE18	PSC	PSF (cr)	365	5	49.5	53.0	42.5	40.0	41.5	107	86	81	84	<4	<4	9.5
			10	47.0	50.5	36.0	37.5	35.0	108	77	80	74	19.5	9	<4	
PG 20	HR Gravel	HR Sand	360	5	72.5	71.5	66.5	64.0	49.5	99	92	88	68	<4	<4	<4
			10	73.0	73.5	59.5	51.5	37.5	101	81	71	51	15	<4	20.5	
PD 17	Sint. PFA	HR Sand	445	5	62.5	64.0	49.5	51.0	50.5	102	79	82	81	<4	<4	14
			10	58.0	58.0	47.5	33.0	39.5	100	82	57	68	<6	<6	20	
PC 16	PSC	PSF (cr)	460	5	55.0	58.5	45.5	41.0	44.0	106	83	75	80	<4	<4	9
			10	56.0	53.5	42.0	40.5	40.0	96	75	72	71	15	<4	<6	

* Load at failure

PSC = Pelletized Slag (Coarse)

n.d = not determined

PSF (cr) = Pelletized Slag Finest (crushed)

焼結PFAコンクリートは、鉄筋を良く保護しており、15年を経過した後でも、鉄筋の腐食は極めて軽微であった。ただし、鉄筋位置の全塩化物量はUK Codeの0.4%（セメント質量比）を越えていた。このことから、塩化物の影響があっても、酸素がコンクリート中を透過し鉄筋に到達しなければ問題とならない。一方、同じ配合の球状スラグコンクリートでは、焼結PFAコンクリートほどの保護は得られない。始めに腐食していた鉄筋を埋め込んだ供試体では、中性化した場所から酸素が供給され、塩化物による腐食が促進された結果ひび割れが発生した。磨いた鉄筋を使用した供試体では腐食は軽微であった。普通コンクリートでは15年の曝露では、鉄筋は健全であった。

コンクリートの物理的性質に関しては、弾性係数、超音波伝播速度、曲げ強度の測定などを行なった。その結果、弾性係数、超音波伝播速度、曲げ強度は両方の軽量コンクリートともに同様の値であり、この値は普通コンクリートと比較して低かった。乾燥収縮量および湿潤膨張量もまた両方の軽量コンクリートとも同様な値であったが、普通コンクリートと比較して2倍の値であった。

4. 結論

- 1) 球状高炉スラグおよび焼結PFA骨材を用いて、BSに適合する構造用コンクリートを製造することができる。
- 2) 同じ配合と物理的性質の軽量コンクリートの長期的な耐久性は、普通コンクリートと比較して良好であった。
- 3) 海水の侵食に対する抵抗性は、LWAおよび通常のコンクリートのどちらも良好であった。骨材自体に認められる劣化よりも、むしろセメント成分の僅かな化学的侵食により強度の低下が生じる。
- 4) 球状スラグ粗骨材と粉砕細骨材の両方を使用したコンクリートは5年から10年の間で僅かな強度低下を示したが、多くの飛沫帯のコンクリートは凍結融解による劣化の兆候がほとんどなく健全であった。
- 5) 飛沫帯や海中環境のように湿度が高い場所におけるLWAコンクリートでは、中性化は問題とならないと考えられる。
- 6) 空気を連行していない焼結PFAおよび通常の粗骨材のコンクリートは良好な耐凍害性を示したが、感潮部に15年間置いたスラグ骨材コンクリートには、僅かな劣化の兆候があった。
- 7) 塩化物の浸透量は、普通骨材コンクリートに比べて軽量コンクリートの方が大きかった。しかしながら、特に焼結PFAコンクリートでは、鉄筋は塩化物による腐食から十分に保護されていた。球状スラグコンクリートもまた、配合や施工に適切な注意を払えば、同様の効果がある。
- 8) 弱酸性溶液に対する抵抗性は、各LWAコンクリートともに良好であり、また同等の普通コンクリートよりも優れていた。

参考文献

- 1) Osborne, GJ "The Durability of Lightweight Concrete made with Pelletized Slag as Aggregate", Durability of Building Materials, 2, Elsevier, pp249-263, 1985

(抄訳担当 武田 均)

29) 骨材の吸水が高強度軽量コンクリートの性能に及ぼす影響について

EFFECT OF WATER ABSORPTION BY AGGREGATE ON PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE

Jouni Punkki and Odd E. Gjorv

Division of Building Materials, The Norwegian Institute of Technology, NTH, Norway

〔まえがき〕

軽量骨材の吸水は軽量コンクリートの製造に影響を及ぼす。この影響に関する情報は文献等では得られない。配合設計において、骨材の吸水はしばしば純水中での吸水量と同等と仮定されている。しかしながら、コンクリート中の吸水は変化し、いくつかの要因に依存する。

骨材吸水による最も重要な影響のひとつはコンクリートのワーカビリティの低下である。特に、これは単位水量の少ない高強度軽量コンクリートにおいて問題となっている。

軽量骨材の調整できない吸水によってコンクリートの比重や水セメント比が調整できなくなり、それ故硬化コンクリートに悪影響を及ぼす。特に、軽量骨材とセメントペーストの間の遷移帯の微細構造に影響を及ぼす。乾燥骨材は骨材表面近傍の水を吸収し、遷移帯を改善する。他方、吸水は乾燥骨材から空気を追い出し、骨材表面近傍の空気量あるいは空隙率は増加する。プレウエッチング骨材が使用される場合、骨材からの水の移動が初期の段階で遷移帯に影響を及ぼすかもしれない。

高強度軽量コンクリートの製造におけるより範囲の広い研究として、2つの異なる種類の軽量骨材の吸水による影響が調査された。この論文では軽量骨材の吸水の影響が述べられている。

〔試験概要〕

以下に示す因子と水準を基本として14の異なる配合について試験を実施した。

(1)骨材

タイプ1：軽量骨材 膨張粘土、タイプ2：軽量骨材 膨張粘土、タイプ3：普通骨材

(2)軽量骨材の水分状況

タイプ1：乾燥骨材

タイプ2：プレウエッチングした骨材、コンクリートを練り混ぜる前に骨材を24時間水中に浸漬

タイプ3：2段練り プレミックスモルタルに乾燥骨材を投入

(3)セメントペースト

タイプ1：有効水粉体比35%、シリカフェーム C×7%、高性能減水剤 C×2.5%

タイプ2：有効水粉体比42%、シリカフェーム 無、高性能減水剤 C×1.0%

上記普通骨材を用いた場合のタイプ2および3の水分状況を除いてすべての配合で試験を実施した。

すべての配合で単位セメント量を400kg/m³とした。単位水量は練混ぜ直後のスランプが200±20mmとなるよう調整された。練混ぜ中の吸水量は有効水粉体比の計算で考慮された。

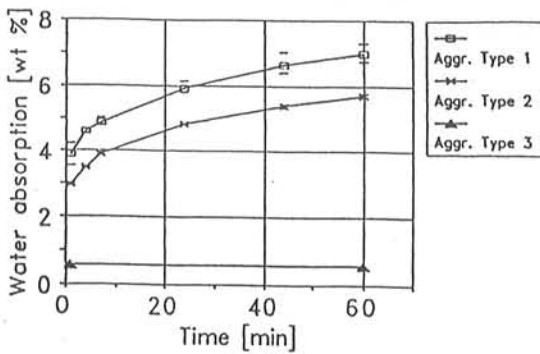
ノルウェー産の高強度ポルトランドセメントおよびシリカフェームが使用された。高性能減水剤はナフタリンホルムアルデヒド縮合タイプであった。

〔試験結果〕

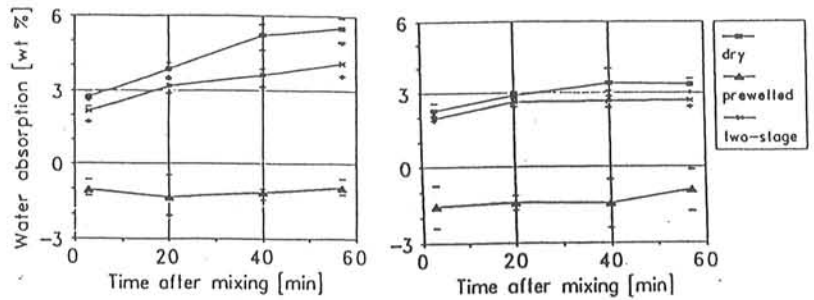
1. 骨材の吸水

純水中およびフレッシュコンクリート中の骨材の吸水状況を図-1および図-2（一部分）に示す。

軽量骨材の吸水は骨材の性能に依存するのみならず、骨材の含水状態（乾燥あるいはプレウエッチング）、コンクリートの練混ぜ方法（1段練りあるいは2段練り）およびフレッシュセメントペーストの性能に依存した。コンクリート練混ぜ60分後での2種類の異なる軽量骨材はそれぞれの高強度コンクリートにおいて3.5から4.0%および4.5から5.5%吸水した。一方、純水中においてそれぞれの吸水は6.0%および7.0%であった。



図一 純水中の軽量骨材の吸水



a)骨材タイプ1、セメントタイプ2

d)骨材タイプ2、セメントタイプ1

図二 フレッシュコンクリート中の軽量骨材の吸水

2. ワーカビリティーの低下

骨材の吸水によってコンクリートのワーカビリティーは大幅に低下するが、プレウェットした骨材を使用することでワーカビリティーの低下は少なくなった。

3. 圧縮強度

試験結果の一部を表一に示す。

軽量骨材の吸水によってコンクリートの圧縮強度、特に初期強度は増加した。材令1日では乾燥骨材を使用するとプレウェット骨材より約10MPa高い強度を示した。材令28日では低水結合材比では何ら影響は見られなかったが、高水結合材比ではプレウェット骨材を使用すると乾燥骨材に比べて約6MPa小さくなった。

表一 骨材の水分状況における圧縮強度

水分状況	圧縮強度 (MPa)				コンクリート 単重(kg/m ³)
	セメントタイプ1		セメントタイプ2		
	1日	28日	1日	28日	
乾燥骨材	53.2	92.2	43.2	80.4	1975
プレウェット	43.0	93.0	31.6	74.4	2006
段練り	57.4	92.5	41.2	80.9	1984

4. キャピラリーサクション

軽量骨材のプレウェットによってコンクリートのキャピラリーサクション(毛細管吸引)は著しく増加した。プレウェットによってキャピラリー抵抗指数は約10%低下し、キャピラリー指数は約58%増加し、毛細管空隙率は約23%増加した。

なお、キャピラリー指数(k)、抵抗指数(m)および毛細管空隙率(ϵ_{suc})を以下に示す。

$$k = dQ/d(\sqrt{t}), \quad t < t_{cap}$$

$$m = t_{cap}/h^2(s/m^2)$$

Q: キャピラリーサクション(kg/m²)、h: 供試体の厚さ(m)、

$$\epsilon_{suc} = (W_2 - W_1)/V(\%)$$

W₁: 乾燥供試体の質量、W₂: 水浸後の質量、V: 供試体の容積

5. 微細構造

コンクリートの微細構造において、プレウェットした骨材を用いたコンクリートの骨材とセメントペーストの間にポーラスな遷移帯が観察された。水結合材比が大きくなるとより明確に観察された。

〔結論〕

高強度軽量コンクリートにおいて、骨材の吸水がたとえわずかでもフレッシュおよび硬化コンクリートの性能に重要な影響を及ぼすことが判明した。

(抄訳担当 綾田隆史)

30) Norwayにおける高性能軽量骨材コンクリートの発展と利用

THE DEVELOPMENT AND USE OF HIGH PERFORMANCE LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE IN NORWAY

Malvin Sandvik ; Norwegian Contractors a.s, Norway
Tor Arne Hammer ; SINTEF Structures and Concrete, Norway

1. はじめに

軽量骨材コンクリートの海洋構造物への利用は既に70年以上の歴史があり、高性能軽量骨材コンクリートも1987年からNorwayのいくつかの橋に利用されている。1995年に北海に建設された2つのフローティング・オフショア・プラットフォーム（Tension Leg Platform, Troll West Floater）に用いられた単位容積質量 2250kg/m^3 、28日圧縮強度 75MPa のコンクリートが、近年の代表的な適用例である。

2. 軽量骨材コンクリートに関する研究—構造物の開発の基礎

ここ25年間にNorwayにおける高性能軽量コンクリートに関する研究は、関心が高く継続して行われてきた。SINTEF, NTH（Norway工科大学）, Norwegian Contractors, Norcem, Elkem Materials, Norsk Leca, Selmer, Public Norwegian Road Administration および北海の石油会社が、軽量コンクリートの開発に意欲的であった。

軽量骨材コンクリートに関する代表的な研究開発の歴史を以下に示す。

①高強度コンクリート（1986年～93年）

材齢28日のシリンダー圧縮強度が 80MPa 、フレッシュ時の単位容積質量が 1950kg/m^3 のコンクリートを対象に、力学的特性、構造部材としての挙動、設計方法などについて検討がなされた。

②高強度コンクリート材料（1988年～92年）

材齢28日のシリンダー圧縮強度が $35\sim 80\text{MPa}$ 、フレッシュ時の単位容積質量が $1500\sim 1950\text{kg/m}^3$ のコンクリートを対象に、製造方法、力学的特性、強度と単位容積質量の最適設計法などについて検討がなされた。

③浮遊構造用軽量骨材コンクリート（1989年～92年）

浮遊式プラットフォームを対象として、材齢28日のシリンダー圧縮強度が $30\sim 45\text{MPa}$ 、フレッシュ時の単位容積質量が $1400\sim 1550\text{kg/m}^3$ の軽量骨材コンクリートの使用材料や製造方法などについて検討を加えた。

④LIGHTCON（1993年～95年）

軽量骨材コンクリートの有効利用を目的に、海洋環境下における実構造物を対象とした品質管理や製造管理などについて検討を加えた。また、細粗骨材に軽量骨材を用い、フレッシュ時の単位容積質量が 1500kg/m^3 の軽量骨材コンクリートの構造部材としての挙動についても検討を加えた。

3. 使用材料と配合設計

高性能軽量骨材コンクリートの基本的要求性能は、耐久性、強度、単位容積質量および施工性から決定される。Norwayの軽量骨材コンクリートの特徴としては、所要の圧縮強度を有し正確な単位容積質量を得るため乾燥状態の軽量骨材を用いることである。

Norwayの規格には軽量骨材に関する規定はないが、改訂案が作成されており、次回の規格の改訂版には軽量骨材の規格が掲載されるものと思われる。

①軽量骨材の種類

Norway の典型的な高性能軽量骨材コンクリートに用いられている軽量骨材は、高強度 Leca 750 または 800 (Norsk Leca 社製、Norway)、Liapor 8 (Lias Franken Leichtbaustoffe 社製、Germany) であり、粒径はそれぞれ 4-12mm、4-16mm である。膨張性焼結粘土型であり、高強度で高密度を有している。その他、研究開発においては、Solite, Hydite (膨張性頁岩骨材、USA)、Lytag (膨張性フライアッシュ、Holland)、軽量かつ/または細粒の Leca または Liapor も用いられている。

②高性能結合材

実構造物および研究において、ほとんど全ての場合 Norway 製高強度セメント (Norcem P30-4A/HS65) が用いられている。海洋プラットフォーム製造用セメントに要求される性能は、長期高強度と低発熱性である。低発熱性は海洋プラットフォームの部材寸法が大きく結合材量が多いことから必要となっている。今日では 28 日圧縮強度が 65 MPa の高強度セメント HS65 が用いられているが、普通ポルトランドセメント (P30) に比べ、約 25% 28 日圧縮強度が大きい。また、P30 に比べ C_2S 量が多く、 C_3S 量が若干少なく、粉末度が高く (HS65 : 約 400 m²/kg、P30 : 約 350 m²/kg)、アルカリ量が少ない (HS65 : 0.55% Na₂O-eq、P30 : 0.95% Na₂O-eq)。

全ての高性能軽量骨材コンクリートには、強度の増進、耐久性の改善、施工性の改善、施工時の材料分離抵抗性の改善を目的にシリカフュームをセメントの重量に対し 5~8% 用いている。Public Norwegian Road Administration は耐久性の観点から海洋環境下における橋梁に用いるコンクリートには最低 2% のシリカフュームを用いることを規定している。

練混ぜ水の吸収量が不明確なので、最大水結合材比を満足するため普通コンクリートに比べ若干小さい水結合材比を採用している。多くの場合、水結合材比は 0.35 から 0.38 の範囲にある。

③配合設計

Norway で用いられている軽量骨材コンクリートは以下の 3 種に分類される。

- 1) "traditional" LWA concrete - 最も多く用いられており、粗骨材の全てを軽量骨材で置き換えたコンクリートを示す。
- 2) "special" LWA concrete - 砂の全部もしくは一部を軽量骨材で置き換えたコンクリートであるが、使用実績はない。
- 3) "MND" concrete (Modified Normal Density) - 普通粗骨材の一部を軽量骨材で置き換えたコンクリートを示す。

軽量骨材コンクリートの配合設計方法を以下に示す。

- a) ペーストの組成は多くの場合、所要の耐久性、強度および単位容積質量が得られるように決定する。ペースト量は、所要のワーカビリティが得られるように試し練りで決める。
- b) 軽量骨材の種類を選定は、材料特性 (主には密度、強度、吸水率、弾性係数)、価格、入手しやすさ、使用実績などを考慮して決める。軽量骨材はペーストよりも強度が小さいので、軽量骨材の強度がコンクリートの強度の決定的な要因となる。
- c) 第 3 段階では、軽量骨材の吸水率に応じて余剰練混ぜ水量を決定する。多くの場合、純水中における 1 時間の吸水量を上限値として用いている。

Norway の規格には、練混ぜ前の初期の湿分とオープンで乾燥させた軽量骨材の 1 時間の吸水量を用いた配合設計法が記載されている。

4. 軽量骨材コンクリートに対する注意点

①製造および施工性

軽量骨材の湿分を少なく均一にすることが重要である。貯蔵および運搬時には雨がつかないようにする必要がある。施工時に所要のワーカビリティを得るために、余剰水と軽量骨材を練り混ぜた後にその他の

材料と練り混ぜることが必要である。

軽量骨材コンクリートを長時間もしくは広範囲の運搬を行う場合もしくは練混ぜから打込みまで長時間かかる場合には、再練混ぜが必要となる。再練混ぜにより、流動性を確保したり、吸水により放出された空気を追い出すことができ所要の強度や密度を確保することができる。

軽量骨材の比重が小さいことから、材料分離が生じやすいが、AE剤の使用によるペーストの比重の低減と粘性の増加、さらにはシリカフェームの使用によるペーストの粘性の増加などにより対処できる。

締固めに関しては、普通コンクリートよりも入念に行う必要があるが、Heidrun における工事では振幅と遠心力を大きくしてエネルギーを高めた特殊なバイブレーターが開発され使用された。

②構造設計

Norway の設計基準 (NS 3 4 7 3) では、普通コンクリートで105 MP aグレードまで、軽量骨材コンクリートで85 MP aグレードまでの設計基準を示している。一般的には、弾性係数や引張強度の補正を適切に行えば、普通コンクリートに用いられている設計式を軽量骨材コンクリートにも適用することができる。

軽量骨材コンクリートは、普通コンクリートに比べダクタリティーが小さいことから、補強材により適切に補強する必要がある。

③耐火性

軽量骨材コンクリートは普通コンクリートに比べスパーリングに対する抵抗性が低い、非常に薄いポリプロピレン繊維を用いることにより著しく改善することができた。

5. 実構造物への適用

海洋プラットフォームの設計と施工を通して得られた軽量骨材コンクリートの利点と欠点を、普通コンクリートと比較して以下に示す。

1) 利点

①浮遊構造物への適用に際し、浮力の増大、②遮熱性の向上、③乾燥収縮、クリープおよび熱応力によるひび割れ性状の改善、④荷重によるひび割れ発生の低減、⑤衝撃荷重によるエネルギーの吸収能力の改善、⑥透過性の低減、⑦耐久性、鉄筋の腐食に対する抵抗性および凍害性の改善、⑧疲労挙動の改善もしくは同等の疲労挙動、⑨強度のばらつきの低減、⑩軽量および低研磨作用により著しい施工性の改善とコンクリートプラントの維持の軽減

2) 欠点

①高価格、②集中荷重に対する抵抗性の低下、③脆性的、④セメント量の増加、⑤水和熱の増大、⑥耐火性の低下 (スパーリング)、⑦所要の強度および流動性を得るための水量の調整に対する詳細な注意の必要性、⑧ポンプによる施工を行う場合の特別な考慮の必要性

(抄訳担当 大賀宏行)

3 1) 高性能軽量骨材コンクリートのための使用材料

THE INGREDIENTS FOR HIGH PERFORMANCE IN STRUCTURAL LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE

R.Narayan Swamy and Wu Lixian ; Center for Cement and Concrete

Structural Integrity Research Institute University of Sheffield, England.

要約

構造用軽量コンクリートは、密度を大きくしないで強度と耐久性を高めるので、いくつかの実際の応用面で多くの技術的経済的な魅力を提供している。セメントマトリックスとの化学的類似性と、そのすぐれた付着力によりフライアッシュで作った骨材は、特別な役割を果たしている。

本論文は、フライアッシュ骨材とシリカフェームのような高活性ポゾラン、フライアッシュとスラグのような補足的セメント材料を使用したハイパフォーマンスコンクリートの発展に関するデータを提供した。コンクリートは材齢28日と6か月の圧縮強度がそれぞれ50MPaおよび60MPaで設計され、強度、静弾性係数、気泡の構造と透気性状が検討された。

1. 配合

使用した配合は表1に示す4配合である。全配合ともW/B=0.4とし細粗骨材量を一定とした。流動化剤はスランプが10~15cmとなるように調整した。

2. 使用材料

使用した材料は表2のとおりである。

3. 試験項目と試験方法

供試体はすべて材齢1日で脱型し7日迄水中養生後気中養生したものと所定材齢まで水中養生した場合の2種類とした。試験項目は、10×10×50cm角柱での曲げ強度と切片での圧縮強度、動弾性係数および超音波伝播速度、コンクリート中のモルタルの気孔構造とコンクリートの透気性—これらは水銀圧入法と酸素透気法で測定—とした。

4. 試験結果と検討

1) 強度特性

コンクリートの圧縮強度は表3のとおりである。配合FとSは、材齢1日では配合Nに比べて10%および20%圧縮強度が低いが、材齢3日以降はNとほぼ同じ強度を示した。材齢28日と6か月では、これら3種の配合は同様の圧縮強度を示した。一方配合SFは材齢1日で配合Nの約60%の圧縮強度となるが、材齢28日と6か月では、配合N、F、Sとほぼ同じ強度となった。これはフライアッシュやスラグのポゾラン反応によるものである。

コンクリートの曲げ強度は表4のとおりである。

全バインダーの14.3%という低い置換率では、材齢3日以降では、曲げ強度は置換しない場合とほとんど変わらない。一方全バインダーの28.6%置換した配合SFは、他の配合より低い曲げ強度を示した。フライアッシュを含む配合Fが、材齢6か月で最大の曲げ強度を示した。

2) 静弾性係数

4配合の静弾性係数は図1のとおりである。

配合F、S、SFは配合Nより10~15%大きい静弾性係数となる。Faとスラグの配合は、全材齢でほとんど同じ静弾性係数となる。

表1. 配合

No.	Cement kg/m ³	SF kg/m ³	Slag kg/m ³	PA kg/m ³	Sand kg/m ³	Lytag kg/m ³	Free W/B
N	350	—	—	—	635	715	0.4
F	300	20	—	30	635	715	0.4
S	300	20	30	—	635	715	0.4
SF	250	10	45	45	635	715	0.4

表2. 使用材料

材 料	内 容
セメント	ポルトランドセメント(ASTM型)、比表面積=3650 cm ² /g
スラグ	比表面積=4170 cm ² /g
フライアッシュ	45μmメッシュ残分が7.6%
シリカフェーム	固形分50%の液状
細骨材	粗粒率=2.04の天然砂
粗骨材	商品名Lytag、最大寸法14mm、吸水率:30秒で9.0% 30分で9.7%、1日で13.5%、平均12.0%の吸水率 品を配合設計に使用。

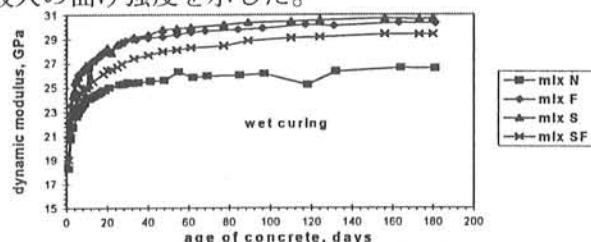


図1. 材齢に伴う静弾性係数の変化

3) 気中養生の影響

気中養生がコンクリートの性質に及ぼす影響は表3, 4, 図2, 3のとおりである。

表3よりずっと水中養生したコンクリートは、材齢7日以降気中養生した物に比べると、材齢28日ではわずかに低い強度となるが、材齢6か月では両養生とも同様の圧縮強度を示した。

表4より材齢28日では気中養生供試体の曲げ強度は水中養生の物より相当減少するが、材齢6か月では両養生の曲げ強度はほぼ同じとなる。表3, 4より最も重要な事は、曲げ強度が圧縮強度より湿分ロスに対してずっと敏感であるという事である。表4のデータによると、この期間が約5か月迄ある事がわかり、もし構造部材がこの期間中に過度の荷重を受けると危険となる事を示している。

4種の配合の動弾性係数と材齢の関係は図2のとおりである。一旦乾燥がはじまると、動弾性係数は減少して行く。そして材齢6か月では、4配合とも約24~25GPaとなり一方水中養生すると鉱物質混和材を含むコンクリートでは、材齢6か月で29~31GPaとなる。鉱物質混和材の長期強度と剛性への貢献は、これらが水和を続ける機会があることに非常に大きく依存している。

材齢に伴う剛性のロスは、図3に示す伝播速度結果で確認できる。図3によると乾燥条件にさらされても、鉱物質混和材を含むコンクリートは、含まないコンクリートに比べてずっと健全で密実な内部構造を達成できる。

以上のとおり、表3, 4, 図1~3に示されたデータは鉱物質混和材がコンクリートに混和されると、コンクリートの全般的な品質に現れる利点を示している。

4) 気泡

材齢6か月で行った水銀圧入ポロシティー試験の結果は、表5のとおりである。

スラグとシリカフェームを含むモルタル(配合S)は、両養生条件下で最小の気泡を示した。鉱物質混和材を含むすべてのサンプルが、両養生条件下でプレーンモルタルよりよい気泡構造を示した。

表3. 圧縮強度 (MPa)

Mixes No.	Age of concrete, days						
	1	3	7	28**	28*	180**	180*
N	31.3	36.6	48.0	53.8	59.0	61.1	61.7
F	27.3	34.3	42.8	48.0	53.8	59.9	62.1
S	25.0	39.1	41.7	50.4	55.6	63.2	65.6
SF	17.4	31.3	36.5	46.1	49.2	59.4	56.6

** wet curing; * 7d wet/air curing

表4. 曲げ強度 (MPa)

Mixes No.	Age of concrete, days						
	1	3	7	28**	28*	180**	180*
N	4.35	5.01	5.52	5.73	2.97	5.48	5.55
F	3.78	4.96	5.33	5.75	2.60	5.77	5.80
S	4.44	5.11	5.27	5.95	2.91	4.93	5.25
SF	3.49	4.62	4.85	5.43	3.39	5.13	5.36

** wet curing, * 7d wet/air curing

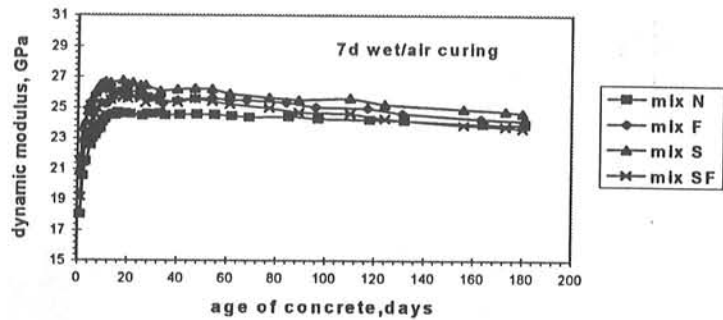


図2. 動弾性係数に対する気中養生の影響

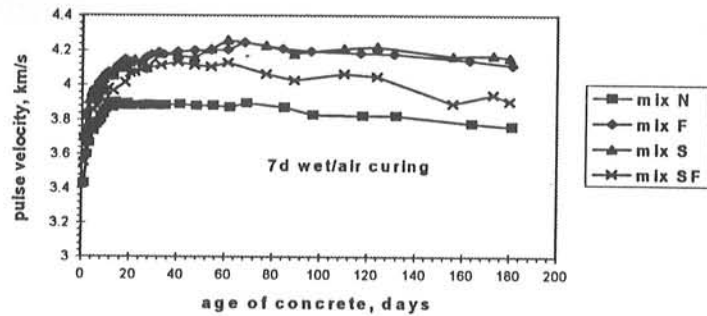


図3. 気中乾燥による伝播速度の変化

表5. 気泡容積, ポロシティーと密度

Specimen No.	Intrusion Volume, ml/g	Porosity, %	Density, g/ml
N-10**	0.0550	11.79	2.1434
F-10**	0.0495	10.38	2.0976
S-10**	0.0395	8.35	2.1134
SF-10**	0.0507	10.7	2.1089
N-7*	0.0569	12.19	2.1427
F-7*	0.0593	12.23	2.0624
S-7*	0.0439	9.24	2.1073
SF-7*	0.0557	11.14	1.9985

** wet curing, * 7d wet/air curing.

5) 気泡分布

両養生法でのモルタル中の気泡分布に関するセメント置換材料の効果が図4と図5で示されている。

全配合中でスラグモルタルが、気泡改善で最も良くついでSFとなった。補助的な鉱物質混和材が、大きい気泡容積を減じ細かい気泡容積を増す。

6) 透気性

酸素による透気性の試験結果は、図6のとおりである。材齢7日でも鉱物質混和材を含む供試体の透気性は、含まない場合より小さい。水中養生の材齢28日では、フライアッシュ、スラグ、シリカフェーム混入の全配合の透気性は、含まない場合の約1/2に過ぎない。鉱物質混和材を含むコンクリートのこの優位性は、21日間気中養生後でも維持された。

5. 結論

1) フライアッシュ軽量骨材とフライアッシュ、スラグおよびシリカフェームのような高反応ポゾランを混入した全結合材量 350 kg/m^3 のコンクリートの圧縮強度は材齢28日で 50 MPa 、材齢6か月で 60 MPa 、曲げ強度は 5 MPa 、静弾性係数は $25\sim 30\text{ GPa}$ となった。

2) これらのコンクリートを乾燥状態におくと、普通コンクリートの場合と同様、曲げ強度と静弾性係数が減少するので設計上注意すべきである。しかしこの場合も超音波伝播速度は、鉱物質混和材を含むコンクリートより大きく、密実な内部構造となっている。

3) 鉱物質混和材を含むコンクリートは、含まないコンクリートよりずっと良い気泡構造を示し、この性質は、サンプルが気中乾燥された時も保持された。スラグを含む配合はすべて気泡構造と透気性の面で最も良い特性を示した。

4) 250 kg/m^3 のポルトランドセメントと 100 kg/m^3 の鉱物質混和材を含むコンクリートが 300 kg/m^3 のセメントと 50 kg/m^3 の鉱物質混和材を含むコンクリートとほぼ同じ品質であるという事は驚くべきことである。

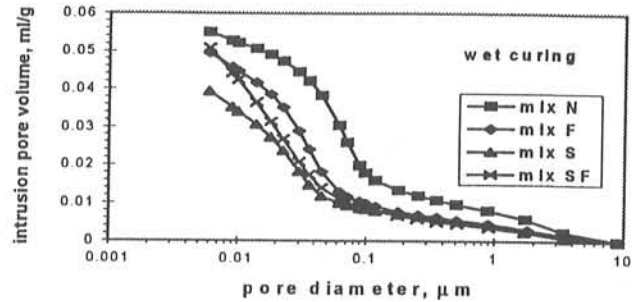


図4. 湿潤条件での気泡分布

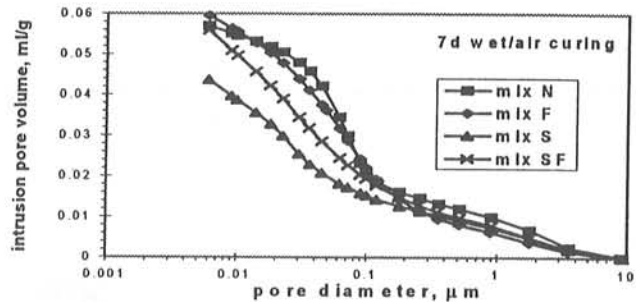


図5. 乾燥条件での気泡分布

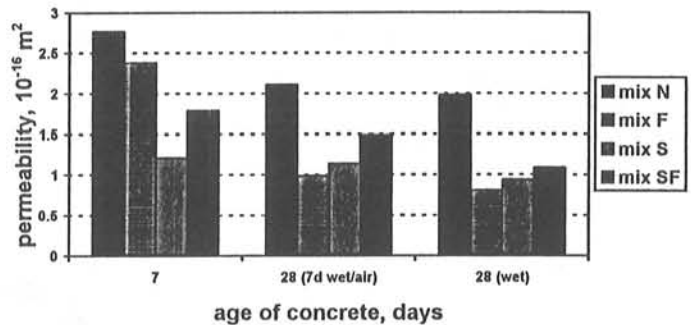


図6. 湿潤と乾燥条件での透気性

(抄訳担当 高羽 登)

3 2) 骨材混合によるコンクリートの養生効果

A BLEND OF AGGREGATES TO SUPPORT CURING OF CONCRETE

Silvia Weber, Hans W. Reinhardt

Institute of Construction Materials, Stuttgart University, Germany

普通骨材の一定の割合を軽量骨材に置き換えることによりコンクリートの内部に水の貯蔵庫を造ることができ、それによりコンクリートの湿潤養生を持続させることができる。それは養生条件の影響を受けにくい高強度コンクリートを得るのに非常に効果があることがわかった。

水和中に水分の損失が無い条件で、水セメント比0.42でポルトランドセメントは完全に水和するという理論は良く知られている。また、この時、キャピラリー空隙は唯一化学反応によって生成する（すなわち化学反応による水の体積減少による）。もし水セメント比が0.42より低く、外部の水が水和中のセメントに到達できるなら、そのキャピラリー空隙も水和物で埋め尽くすことができる。水セメント比0.36でキャピラリー空隙を持たない水和物としてのペーストを得ることは理論的に可能である。

実際の構造部材の内部に外部の水を補給することは不可能であるため、コンクリートの内部に水を蓄える考えが生み出された。これは高い含水率の軽量骨材を活用することで可能となる。一方軽量骨材は普通骨材に比べ脆性的で強度も低くコンクリートにマイナスの影響がある。水の補給と強度の発現の間にプラス思考の方法が必要である。前向きな評価は養生を必要としないで高い強度を得られることである。

ドイツ規格D I N 1092 に従うB 85 クラスの高強度を達成する標準普通コンクリートの配合を表一1に示す。フレッシュコンクリートの密度は2450Kg/m³。ワーカビリティーはフローテーブルで測定しその値は50cm以上、D I N 1048 に従う7日湿潤養生後21日乾燥養生（20℃、65%）後の100mm立方供試体の圧縮強度は10.4MPaであった。

表一1：高強度普通コンクリートの配合表

Component	Abbreviation	Amount	Unit
Cement PZ 45F ¹⁾	C	450	kg/m ³
Water ²⁾	w	150	l/m ³
Silica fume ³⁾	SF	30	kg/m ³
Superplasticizer	SP	13.6	l/m ³
Retarder	R	1.75	l/m ³
Aggregates			
Fraction 0/2		399	kg/m ³
Fraction 2/4		208	kg/m ³
Fraction 4/8		399	kg/m ³
Fraction 8/16		729	kg/m ³
W/C ratio		0.33	

¹⁾ rapid hardening Portland cement acc. DIN 1164 [3] (equivalent to a CEM I acc. EN197 [4])

²⁾ total water

³⁾ dry mass of slurry

表一2：混合骨材コンクリートの配合表

Component	Amount	Unit	Density	Unit
Cement PZ 45F	450	kg/m ³	3,1	kg/dm ³
Water (total)	150	l/m ³	1,0	kg/dm ³
Silica fume (slurry)	64	l/m ³	1,4	kg/dm ³
Superplasticizer	13.6	l/m ³	1,22	kg/dm ³
Retarder	1.75	l/m ³	1,15	kg/dm ³
Aggregates				
Fraction 0/1	261	kg/m ³	2,63	kg/dm ³
Fraction 1/2	210	kg/m ³	2,65	kg/dm ³
Fraction 2/4	260	kg/m ³	2,62	kg/dm ³
Fraction 4/8 LWA	234	kg/m ³	1,42	kg/dm ³
Fraction 8/16	567	kg/m ³	2,60	kg/dm ³

この調査を基本に粗骨材の一部を軽量骨材（Liapor 8、含水率20.2%）に置き換える数多くの組み合わせの混合骨材コンクリートについて実験を行った。その結果、ワーカビリティーや圧縮強度を満足し軽量骨材の分布状態が比較的均一で分離しない混合骨材コンクリートの標準配合として表一2が得

表-3 : 脱型後のコンクリートの養生条件

Code	Curing condition
NK	6 days under water, then in air 20°C, 65% RH
KR	in air 20°C, 65% RH
KK	in air, temperature varying between 15 and 25°C, RH varying between 40 and 45%
KL	sealed in aluminium and polyamid foils

表-4 : 各養生条件毎の強度発現の状況

Curing condition	LWA	Grinding	$f_1 / f_{c,100,28}$			
			Age of concrete at testing, days			
			7	28	91	180
KK	No	no	0.68	0.82	0.80	0.80
KR	No	no	0.66	0.82	0.82	0.85
KL	No	no	0.77	0.93		1.02
NK	No	no	0.74	1.00	1.01	1.03
KK	Yes	no	0.83	0.96	1.03	1.03
KR	Yes	no	0.81	0.95	0.99	1.02
KL	Yes	no	0.90	0.95	0.99	1.02
NK	Yes	no	0.78	1.00	1.00	1.01
			f_2 / f_1			
KK	Yes	yes		1.07		
KR	Yes	yes		1.04		
NK	Yes	yes		1.07		

The following abbreviations will be used:

f_1 = measured compressive strength without grinding

$f_{c,100,28}$ = standard compressive strength (104 MPa)

f_2 = measured compressive strength of cubes after grinding

For the cubes stored in different curing conditions and tested at different ages of concrete the ratio $f_1 / f_{c,100,28}$ is presented in Table 6. Table 6 also shows the ratio f_2 / f_1 .

られた。フレッシュコンクリートの密度は2300kg/m³、フロー値は50cm以上であった。100mm立方試料の7日湿潤養生21日気中(20°C、65%)のドイツ規格標準圧縮強度試験による値は104MPaであった。また、表-3に示す養生条件毎に測定された圧縮強度の比(一部の試料は載荷軸上下面を研磨)を表-4に示す。この表から軽量骨材を混合したコンクリートの7日圧縮強度は普通コンクリートに比べて大きい。また、養生条件KK、KR、とKLの混合骨材コンクリートの28日圧縮強度は普通コンクリートに比べて大きい。僅かに104MPaを下回っている。材令180日では養生条件による差は殆ど無く少なくとも標準圧縮強度に達している。養生条件に支配されないというこの混合骨材コンクリートの特徴は普通コンクリートに比べて明らかに優位性がある。

(抄訳担当 藤木英一)

3 3) 高強度軽量コンクリートの特性

PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE

Min-Hong Zhang CANMET Natural Resources Canada Canada
and Odd E. Gjrv ; Division of Building Materials
The Norwegian Institute of Technology, NTH Norway

ヨーロッパ市場にある5種類の軽量骨材(表-1)及びポルトランドセメントを用い、表-2に示すように、セメント、シリカフューム及び天然砂による細骨材の置換率を変えて諸物性を実験的に求めている。

表-1 使用した軽量骨材の特性

Type of aggregate	Material	Particle size (mm)	Particle density (g/cm ³)	Water absorption (30 min.), % of dry mass
Type 1	Expanded clay	4-8	1.37	8
Type 2	Expanded clay	4-8	1.25	9
Type 3	Expanded clay	4-8	1.07	12
Type 4	Expanded clay	4-8	1.30	12
Type 5	Sintered fly ash	4-8	1.44	13

表-2 コンクリートの配合

No.	Type of lightweight aggregate	Cement (kg/m ³)	Silica fume (kg/m ³)	C:FA*:CA** (volume)	W/(C+SF) (total)	Natural sand (% by vol. of FA)
1	Type 1	600	60	1:1.02:1.92	0.28	46.8
2	Type 1	500	50	1:1.46:2.30	0.34	39.4
3	Type 1	400	40	1:2.15:2.88	0.43	33.5
2	Type 1	500	50	1:1.46:2.30	0.34	39.4
4	Type 1	550	0	1:1.37:2.09	0.36	38.2
2	Type 1	500	50	1:1.46:2.30	0.34	39.4
5	Type 1	500	50	1:1.46:2.30	0.36	0
5	Type 1	500	50	1:1.46:2.30	0.36	0
6	Type 2	500	50	1:1.46:2.30	0.37	0
7	Type 3	500	50	1:1.46:2.30	0.40	0
8	Type 4	500	50	1:1.46:2.30	0.36	0
9	Type 5	500	50	1:1.46:2.30	0.44	0

* Fine aggregate

** Coarse aggregate

圧縮強度と単位容積質量

圧縮強度はセメント量、シリカフューム量及び天然砂の置換率にはあまり影響されず、単位容積質量の増加に伴い増加する。即ち、圧縮強度の上限を決める主要因は単位容積質量である。圧縮強度の7日以後の伸びは小さく、28日以後はほとんどない。骨材が多孔質のわりには圧縮強度が出るのは、載荷時に高強度骨材が骨材を拘束するためである。

引張強度

圧縮強度の増加に伴い曲げ及び割裂引張強度は増加するが、同強度の普通骨材コンクリートに比べると小さい。

ヤング係数及び応力-歪曲線

ヤング係数は普通骨材コンクリートに比べて小さく、骨材の種類によって異なる。

応力と歪の関係はセメント量、天然砂の置換率にはあまり影響されないようだ。シリカフュームの混入によりその関係は直線的になるが、これは多分シリカフュームが粗骨材とマトリックスの付着に寄与しているためである。

表-3 コンクリートの単位容積質量と機械的性質

Mix. No.	Density, kg/m ³		Compressive strength, MPa					Tensile strength, MPa		Elastic modulus GPa
	Fresh	Oven dry	3-day	7-day	28-day	90-day	360-day	Flexural	Splitting	
1	1865	1735	81.9	98.9	102.4	103.2	109.6	7.2	5.6	25.9
2	1835	1690	72.5	84.2	91.8	90.7	98.8	7.0	4.9	24.7
3	1750	1645	65.5	77.3	93.4	89.3	96.0	7.3	5.3	24.3
2	1835	1690	72.5	84.2	91.8	90.7	98.8	7.0	4.9	24.7
4	1815	1735	65.3	74.0	84.5	88.1	94.5	6.3	4.5	22.3
2	1835	1690	72.5	84.2	91.8	90.7	98.8	7.0	4.9	24.7
5	1800	1635	78.9	87.2	98.0	94.7	104.8	7.1	4.1	24.3
5	1800	1635	78.9	87.2	98.0	94.7	104.8	7.1	4.1	24.3
6	1710	1570	65.8	72.0	74.4	76.8	72.9	6.5	4.3	21.6
7	1595	1435	52.6	54.4	57.3	59.0	62.4	5.4	3.5	17.8
8	1750	1625	66.7	75.9	81.5	85.1	85.8	6.7	3.8	22.2
9	1880	1710	63.6	76.8	88.4	91.8	90.4	6.9	4.3	24.8

透水性と拡散

透水性は一般的に小さく $2.4 \times 10^{-12} \sim 10^{-14}$ m/sec である。透水性は骨材の物性によるというよりコンクリートのマトリックスによる。

1年、3年及び7年後の海水暴露試験を実施した。シリカフュームの存在が塩分拡散に対する抵抗に寄与していることが明瞭である。(図-1参照) 骨材による有意な差はない。

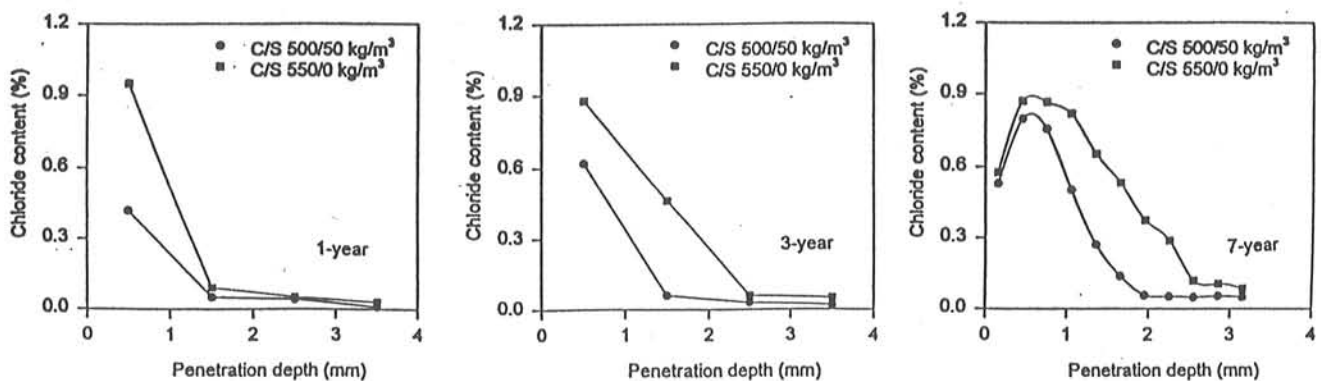


図-1 塩分浸透におけるシリカフュームの影響

(抄訳担当：相原 功)

最近の軽量コンクリート施工例(平成5年1月~8年3月)

工 事 件 名	構造・階数	設計事務所 施	施 工 会 社	使用部位	設計強度 (N/mm ²)	コンクリ ート比重	スラン プ cm	工 期 年/月	地区
(建築関係)									
三宮OSTビル	S・10F	竹中工務店	竹中工務店	床	18~27	1.85	15/18	5/1~6/4	兵庫
大阪ワールドトレードセンター	S・52F	日建設計	大林・鹿島・三井・鴻池	床	21	1.85	19	5/1~6/7	大阪
爪阪東住宅	SRC・RC・14F	大阪市都市整備局	森組	躯体	21~24	1.85	18	5/3~6/8	大阪
天王寺ターミナルビル	S.SRC・15F	安井建築設計	奥村・大林	床	21~25.5	1.75	18	5/3~7/4	大阪
FOGビル	S・25F	丹下設計	鹿島建設	床	21	1.85	18	5/4~8/3	東京
同和火災新本社	S・28F	日建設計	鹿島建設	床	21	1.85	18	5/5~6/6	大阪
都営住宅上新田	SRC・14F	東京都	間・東亜JV	躯体	21	1.85	18	5/8~6/11	東京
恵比寿RCビル	S.SRC・18F	梓設計	鹿島建設	床	18	1.85	18	5/9~6/7	東京
正興天王洲ビル	S.SRC・22F	R・J・A	鹿島建設	床	21	1.85	21	5/9~6/7	東京
西新宿6丁目東二期	S.SRC・44F	日本設計	大成建設	床	21	1.85	18	5/9~6/8	東京
東喜連住宅	SRC・14F	大阪市都市整備局	西松・真柄	躯体	21~22.5	1.85	18	5/9~6/9	大阪
ソリッドスクエア	S.SRC・24F	日建設計	大成建設	床	21	1.65	18	5/10~6/6	神奈川県
マロウドインターナショナルホテル	SRC・13F	梶設計	間組	床	21	1.85	18	5/10~6/6	千葉
JT本社ビル	S.SRC・35F	日建設計	大成建設	床	21	1.65	18	5/10~6/9	東京
川崎駅北口再開発	S.SRC・22F	アール、アイ、エー	大林組	床	21	1.90	18	5/10~6/9	神奈川県
竹芝埠頭再開発(DF)	S.SRC・22F	日本設計	西松建設	床	21	1.85	18	5/10~6/10	東京
竹芝埠頭再開発(HO)	S.SRC・25F	日本設計	前田建設	床	21	1.85	18	5/10~6/10	東京
三星ビル	S・21F	阪倉建築研究所	清水建設	床	21~25.5	1.75/1.85	18	5/10~6/11	大阪
関西国際空港複合管理棟	S・11F	松田平田	竹中・大林・大成	床	21	1.85	18	5/10~6/12	大阪
有明南モデル	S.SRC・21F	松田平田	竹中工務店	床	21	1.85	18	5/11~6/1	東京
タイム24第一工区	S.SRC・19F	日建設計	間組	床	21	1.65	18	5/11~6/5	東京
NNビル	S.SRC・25F	日本設計	鹿島建設	床	21	1.75	18	5/11~6/12	東京
OAP(ホテル・事務所棟)	S・24F/39F	三菱地所	大林・竹中・鹿島・大成	床	21~22.5	1.85	18	5/11~7/2	大阪
新宿NTTビル	S・30F	山下設計	大成建設	床	21	1.65	18	5/12~6/9	東京
東京女子学園	S.SRC・8F	東急設計	鹿島建設	床	21	1.85	18	6/1~7/1	東京
NSSニューステージ札幌	・	・	西松建設	床	21/22.5	2.00	18	6/1~7/1	札幌
テレコムセンター(西/東1区)	S.SRC・21F	日本総合建築事務所	大成建設/鹿島建設	床	21	1.65	18	6/1~7/3	東京
広島水道局	SRC・13F	村田相互設計	清水・間・日成能JV	床	21	1.80	18	6/2~6	広島
市原プラザ	SRC・RC・12F	山下設計	大成建設	床	21	1.85	18	6/2~7	千葉
G-7	SRC・13F	東電設計	竹中工務店	躯体	21	1.85	18	6/2~7	東京
岡山ターミナルホテル	SRC・19F	日建設計	鹿島・大成・大林JV	床	21	1.65	18	6/2~7	岡山
蒲安オリエンタルホテル	S.SRC・12F	長谷工コーポレーション	長谷工コーポ	躯体	24~27	1.65	18	6/2~8	千葉
東松綿ビル	SRC・12F	竹中工務店	竹中他JV	床	20.6	1.90	18	6/2~7/2	愛知
浜松市医療センター	SRC・8F	公共施設研究所	熊谷・須山・常盤	床	21	1.85	18	6/3~9	静岡
日本橋加藤ビル	SRC・9F	野村不動産	大成建設	床	21	1.85	18	6/3~7	東京
浜松医療センター	RC・8F	公共施設研究所	熊谷組	躯体	21	1.85	18	6/3~11	静岡
青梅地区モデル	SRC・21F	安井建築設計	清水建設	床	21	1.85	18	6/3~7/3	東京
ファッションタウンG街区	S・10F	丹下設計	戸田建設	床	21	1.85	18	6/3~7/9	東京
都営住宅・大森	SRC・12F	東京都	大成建設	躯体	21	1.90	21	6/3~8/3	東京
東三河総合庁舎	SRC・5F	東海設計	竹中・鹿島・山本	床	21	1.80	18	6/4~6	愛知
都営住宅西	SRC・10F	東京都	松尾・三恵JV	躯体	21	1.85	18	6/4~7	東京
ブレスステージセントラル	SRC・8F	タウ建築設計	大末建設	躯体	22.5~24	1.65	18	6/4~7	大阪
東京電力松戸営業所	SRC・6F	東京電力	安藤建設	床	21~27	1.85	18	6/4~8	千葉
三井生命仙台本町ビル	S.SRC・19F	久米設計	三井建設	床	21	1.85	18	6/4~10	宮城
エクセレンス豊明	SRC・14F	岩崎設計	五洋建設	躯体	23.5	1.80	18	6/4~11	愛知
オスカードリーム	SRC・20F	赤松管野建設	大林・鴻池	床	18~22.5	1.85	18	6/4~12	大阪
テラサキ第2ビル	SRC・	・	大末建設	躯体	21	1.85	18	6/4~6/9	大阪
エアロプラザ	SRC・11F	松田平田	竹中・大林・大成能JV	躯体	18	1.85	18	6/4~7/3	大阪
コンツェルトパーク	SRC・13F	清水企画設計	日本国土開発	床	21	1.80	18	6/4~7/3	広島
丸の内再開発	SRC・22F	青島設計	竹中他JV	床	20.5	1.60	21	6/4~7/3	愛知
バルコン	RC・2F	大成建設	大成バルホーム四国	床・壁・屋根	27	1.90	7	6/4~7/3	四国
コンシエットパーク	SRC・13F	清水企画設計	日本国土開発	床	22.5	1.80	18	6/4~7/3	広島
新宿マインズタワー	S.SRC・34F	日本設計	大成建設	床	21	1.85	18	6/4~7/3	東京
相模大野駅ビル	S・13F	竹中工務店	竹中工務店	床	21	1.85	18	6/4~7/9	神奈川県
興和西新橋	S・16F	日本設計	間組	床	21	1.90	18	6/4~8/3	東京
シーホークホテル	S.SRC・RC・36F	竹中他JV	・	床	21	1.85	・	6/4	福岡

[工事名、設計事務所、建設会社等は略表記もあります]

工 事 件 名	構造・階数	設 計 事 務 所 施	建 設 会 社	使 用 部 位	設計強度 (N/mm ²)	コンクリ ート比重	スラン プ cm	工 期 年/月	地区
JICST 西番町共同ビル	S.SRC・12 F	久米設計	清水建設	床	21 / 22	1.85	18	6/5~8	東京
桜井南集合住宅	SRC・11 F	類設計	大日本土木	躯体	21~24	1.85	18	6/5~10	奈良
十三本町マンション	SRC・14 F	現代総合設計	竹中工務店	躯体	21	1.85	18	6/5~12	大阪
東京港建設事務所	S.SRC・19 F	創造社	清水建設	躯体	21	1.85	15	6/5~7/1	東京
同和火災名古屋ビル	S・14 F	竹中工務店	竹中工務店	床	20.6	1.90	18	6/5~7/2	愛知
武蔵小杉駅前再開発	S.SRC・23 F	竹中工務店	竹中工務店	床	21	1.85	18	6/5~7/3	神奈川
オリエンタルホテル	S・14 F	竹中工務店	竹中工務店	床	21	1.85	18	6/5~7/3	兵庫
星ヶ丘厚生年金病院	RC・5 F	安井建築設計	戸田・日産・森本	床	18~21	1.85	15/18	6/5~7/3	大阪
厚木サテライトビジネスパーク	S・26 F	石本建築事務所	鹿島建設	床	21	1.85	18	6/5~7/5	神奈川
亀大小学校	SRC・14 F	東京都	三井建設	床	21	1.85	21	6/5~7/7	東京
計算センター	SRC・16 F	中電技術コンサルタント	清水・奥村・松本JV	床	21	1.80	15	6/5~7/7	広島
東急マルゲンビル	・20 F	東急建設設計	東急建設	床	21	1.90	18	6/6~	札幌
京セラホテル	SRC・13 F	黒川紀章設計	大成建設	床	21	1.85		6/6	福岡
北九州大学新刊	SRC.RC・14 F	奥村他JV	池原義郎K・S構造計画	床	22.5	1.85		6/6~	福岡
ミナミタワー	SRC・12 F	A&A総合計画	大成建設	床	21	1.85	18	6/6~10	東京
シャルマンコーポビル	SRC・12 F	内田祥三設計	東レ建設	床	21	1.85	18	6/6~11	静岡
富士市立中央図書館	SRC・5 F	和設計	保坂組・中村建設	床	21	1.80	18	6/6~11	静岡
南住吉住宅	SRC・14 F	大阪市役所	才門建設	床	21	1.85	18	6/6~12	大阪
六甲アイランド住宅	SRC・14 F	神戸市・安井建築設計	日本国土他JV	床	18~21	1.85	18	6/6~12	兵庫
久美美シティホテル	SRC・13 F	中路建築企画	藤木・ツバサ	躯体	24	1.85	18	6/6~12	京都
広島県立病院	SRC・12 F	内田相互設計	フジタ・三井・松本	床	22.5	1.80	18	6/6~7/2	広島
福島競馬場スタンド増築	SRC・6 F	松田平田	佐藤・東海JV	床	22.5~27	1.80	18	6/6~7/5	福島
Dプロジェクト	S.SRC・16 F	山宣設計	佐藤工業	床	21	1.85	18	6/6~7/9	東京
りんくうゲートタワービル	S.SRC・56 F	日建・安井	大林・竹中・鹿島	床	18 / 21	1.85	18 / 21	6/6~7/12	大阪
オペラシティ	S.SRC・54 F	NTTファシリティーズ	竹中工務店	床	21	1.85	21	6/6~8/3	東京
ニチバクビル	・		清水建設	床	21	1.85	18	6/7~	神奈川
第一生命海老名	S.SRC・25 F	清水建設	清水建設	床	21	1.65	18	6/7~7/3	神奈川
海老名第一生命ビル	S・25 F	清水建設	清水建設	床	21	1.85	18	6/7~7/3	神奈川
赤坂NNビル	S.SRC・5 F	日本設計	清水建設	床	21	1.85	18	6/7~7/3	東京
福岡ワシントンホテル	S・12 F	総合設計	熊谷・辰村JV	床	21	1.85		6/7	福岡
銀座アイトワー	S・14 F	熊谷組	熊谷組	床	21	1.85	18	6/7~7/10	東京
オリエント奈良杉ヶ町	RC・8 F	岸本設計	森本・辰林	床	21	1.85	18	6/8~	奈良
旭町ショッピングセンター	・		前田建設	床	24	1.85	18	6/8~	神奈川
三番町住宅	SRC・14 F	創造社	飛鳥建設	床	21	1.85	18	6/8~12	東京
タイム24第二工区	S.SRC・19 F	日建設計	佐藤工業	床	21	1.65	18	6/8~12	東京
港不動産ビル	SRC・9 F	松村組	松村組	床	24	1.85	18	6/8~12	大阪
長野市民病院	・5 F	長野市	鹿島・北野・地信JV	床	18	1.80	18	6/8~12	長野
ランオンズマンション道徳公園第2	SRC・15 F	藤市建築研究所	熊谷組	躯体	21	1.80	18	6/8~7/2	愛媛
松江戸2丁目都民住宅	SRC・7 F	東京都	新井組	床	24	1.85	18	6/8~7/2	東京
布施駅前北口再開発	SRC・8 F	安井建築設計	新井・モリタ	床	18	1.85	18	6/8~7/7	大阪
港区赤坂支所	SRC・16 F	類設計	鹿島建設	床	21/24/27	1.65/1.85	18	6/9~7/1	東京
第一生命梅田ビル	S・17 F	竹中工務店	竹中工務店	床	21~25.5	1.85	18	6/9~7/1	大阪
東三河総合庁舎	SRC・6 F	東海設計	竹中工務店	躯体	21	2.00	18	6/9~7/3	愛知
岐阜ルネッサンスホテル	SRC・11 F	日建設計	大日本土木	床	23.5	1.90	18	6/9~7/4	岐阜
園田学園女子大学	S・8 F	武田建築設計	大林・柄谷	床	24	1.85	18	6/9~7/7	兵庫
SHIP	S・35 F	NTT都市開発	鹿島建設	床	21	1.65	18	6/9~8/1	東京
東電船橋月形原子力発電所	・		鹿島・関・清水・竹中他	屋上・床・壁	13~22.5	1.90	15/18	6/9~8/5	新潟
東電横浜火力発電所	・		竹中工務店	床	18	1.85	18	6/9~	神奈川
日神パレスステージ	・		関組	床	21	1.85	18	6/10	神奈川
レクセル保土ヶ谷	・		村本建設	床	18 / 27	1.85	18	6/10	神奈川
神戸ハーバーランド情報文化ビル	S・18 F	住都公園・辰建築研究所	竹中・三井・清池	床	22.5~25.5	1.85	18	6/10~8/1	兵庫
芝浦ホテル	S・14 F	東急コンサル	戸田建設	床	21	1.85	18	6/10~8/3	東京
ドコモ商工ビル	SRC・7 F	NTT	大林組	床	21	1.80	18	6/10~7/1	広島
桐生市営住宅	SRC・11 F	成瀬建築設計	坂本建設	躯体	21	1.85	18	6/10~7/1	群馬
第一津久戸ビル	SRC・14 F	熊谷組	熊谷組	床	21	1.85	18	6/10~7/3	東京
宮原団地	・		日産建設	床		1.85	18	6/10~7/3	神奈川
船場ダイヤモンドビル	S・15 F	三菱地所	竹中工務店	床	21	1.85	18	6/10~7/3	大阪
川西再開発	S・6 F	阿波設計	西武建設	床	18 / 21	1.85	18	6/10~7/8	兵庫
我孫子東住宅	SRC.RC・14 F	小西設計	三菱建設	躯体	24	1.85		6/10~7/9	大阪

工 事 件 名	構造・階数	設計事務所 主 施	建設会社	使用部位	設計強度 (N/mm ²)	コンクリ ート比重	スラン プ cm	工 期 年/月	地区
品川共同	SRC・25 F	アール・アイ・エー	鹿島建設	床	21	1.85	21	6/10~7/9	東京
中野坂上2丁目南棟	S.SRC・18 F	日本設計	フジタ・銭高	床	18	1.85	18	6/10~7/9	東京
神戸情報文化ビル	S・18 F	住都公園・辰倉	竹中・清池・三菱	床	21/25	1.85	18	6/10~7/10	兵庫
実践倫理宏正会館	S.SRC・10 F	竹中工務店	竹中工務店	床	21	1.85	15	6/11~7/3	東京
グランディア大手町	SRC・15 F	都市建築研究所	戸田建設	床	21	1.80	21	6/11~7/4	愛媛
大森西都民住宅	SRC・14 F	東京都	鴻池組	躯体	24	1.85	18	6/11~7/5	東京
長吉長原住宅	SRC・14 F	都市整備局	日産・南海	躯体	21/24	1.85	18	6/11~7/8	大阪
長野七瀬ビル	・8 F	NTT	共立・北野・清水他JV	床	25.5	1.80	18	6/11~8/2	長野
江戸堀センター	SRC・31 F	東畑建築設計	清水建設	躯体	18/24	1.85	18	6/12~7/3	大阪
野田マンション	RC・10 F	西田工業	西田工業	躯体	24	1.80	18	6/12~7/3	大阪
高松ビル	・	・	和同建設	床	27	1.85	18	6/12~7/3	神奈川
舞島北浦ポートサービスセンター	S・11 F	梓設計	大成・佐伯	床	18~21	1.85	18	6/12~7/3	大阪
カブコン本社	S.SRC・17 F	日産設計	三菱建設	床	21	1.85	18	6/12~7/8	大阪
上大岡駅前再開発 (高層棟)	S・11 F	石本建築事務所	鹿島建設	床	21	1.85	18	6/12~7/12	神奈川
千葉県庁舎	S・20 F	松田平田	大成建設	床	21	1.85	18	6/12~7/8	千葉
ITJ千葉ビル	SRC・8 F	梓設計	清水建設	床	18/21	1.85	18	6/12~7/12	千葉
横浜スカイビル	S・32 F	三菱地所	鹿島建設	床	21	1.85	18	6/ ~7/10	神奈川
東京ユーロポートホテル	S.SRC・29 F	久米設計	大成建設	床	21	1.85	21	6/ ~7/	東京
東急ドエルアルス池袋	SRC・12 F	英建築設計	日建設計	躯体	21	1.70	18	7/1~4	東京
済生会病院	SRC・10 F	竹中工務店	竹中工務店	床	22.5	1.80	15	7/1~6	岡山
済生会宇都宮病院	SRC・9 F	田中設計	戸田建設	躯体	21	1.85	18	7/1~9	栃木
小綱町ビル	SRC・20 F	中電技術コンサルタンツ	鹿島・フジタ・奥村	床	21	1.85	21	7/1~10	広島
サンパーク新道Ⅱ期	SRC・10 F	・	地崎工業	躯体	21	1.90	18	7/1~12	愛知
東急ドエルアルス豊原	SRC・	英設計	日産建設	床	・	1.85	18	・	東京
ロイヤルプラザ千束	SRC・13 F	伊勢建築設計	松村組	躯体	22.5	1.85	21	7/2~8	東京
蒲島地区市街地再開発	S・17 F	日建設計	フジタ	床	21	1.85	18	7/2~11	東京
岩崎ガスビル	S・15 F	安井建築設計	清池・大林・竹中	床	21/24	1.85	16	7/2~11	大阪
府中南口(明治生命)	S.SRC・13 F	タカハタ都市	清水建設	床	27	1.85	18	7/3~8	東京
三和銀行電算センター	S.SRC・13 F	大林組	大林組	床	21	1.90	18	7/3~9	千葉
ラジオ日本長者町ビル	S・15 F	三菱地所	熊谷組	床	21	1.85	18	7/3~10	神奈川
八王子土地信託	S.SRC・14 F	山下設計	戸田建設	床	21	1.85	18	7/3~11	東京
中野坂上2丁目北棟	S.SRC・30 F	日本設計	大成建設	床	22.5	1.75	18	7/3~8/1	東京
兵庫県警	S.SRC・23 F	昭和設計	鹿島他JV	床	18/21	1.85	18	7/3~8/1	兵庫
豊橋市庁舎	SRC・13 F	日本設計	大林・フジタ・六合他JV	床・柱	21	1.90	18	7/3~7/12	愛知
京都駅ビル	S.SRC・16 F	アトリエワイ・村松	大林・東建他JV	躯体・床	21	1.90	18	7/3~	京都
厚木ショッピングスクエア	S.SRC・4 F	竹中工務店	竹中工務店	床	・	1.85	・	7/4~5	神奈川
エクセル岸和田	SRC・9 F	高橋建築設計	多田建設	躯体	27	1.65	18	7/4~7	大阪
都営住宅・谷保	SRC・14 F	東京都	日産・砂原	躯体	21	1.85	18	7/4~8	東京
ハイビアー松戸稔台	SRC・11 F	海老澤工務店	海老澤工務店	床	24	1.85	18	7/4~8	千葉
中消防署複合庁舎	SRC・16 F	名古屋市長設局	大日本土木	床	21	1.90	18	7/4~8	愛知
ソフトピアジャパン	S・12 F	黒川紀章	竹中他JV	床	21	1.85	18	7/4~8	岐阜
高松建設本社	SRC・12 F	高松建設	高松建設	床	24	1.85	18	7/4~9	大阪
都営住宅・長沼	SRC・14 F	東京都	国土開発・増田	躯体	21	1.85	18	7/4~9	東京
都営住宅・上袖木	SRC・14 F	東京都	清水組・町田	躯体	21	1.85	18	7/4~10	東京
都営住宅・立川大山	SRC・14 F	東京都	モリタ・砂川	躯体	21	1.85	18	7/4~10	東京
都営住宅・上袖木	SRC・14 F	東京都	株木・日新	躯体	21	1.90	18	7/4~10	東京
ダイヤパレス若草町	SRC・14 F	都市建築研究所	熊谷組	床	21	1.80	18	7/4~10	愛知
NTビル	S.SRC・17 F	久米設計	フジタ	床	21	1.85	21	7/4~12	東京
江戸堀センタービル	S・23 F	東畑設計	清水・鹿島・清池・新日鐵	床	21	1.85	15	7/4~12	大阪
S&C恵比寿ビル	S・14 F	大成建設	大成建設	床	20/21	1.85	18	7/4~8/1	東京
上大岡駅前市街地再開発 (高層棟)	S・26 F	石本建築事務所	鹿島建設	床	21	1.85	18	7/4~8/1	神奈川
三軒茶屋太子堂再開発	S・27 F	石本建築事務所	東急建設	床	21	1.75	18	7/4~8/2	東京
神戸ファッションプラザ	SRC・19 F	昭和設計	大成建設他JV	床	21	1.85	18	7/4~8/2	兵庫
名古屋大学病院	SRC・14 F	名古屋大学建設部	鴻池他JV	床	21	1.85	18	7/5~9	愛知
都営住宅・東村山	SRC・14 F	東京都	長谷工・小寺	躯体	25.5	1.85	18	7/5~9	東京
都営住宅・立川大山	SRC・14 F	東京都	カトービルト・寺沢	躯体	24	1.85	18	7/5~10	東京
都営住宅・立川大山	SRC・14 F	東京都	海老原・田中	躯体	21	1.85	18	7/5~10	東京
都営住宅・東村山	SRC・14 F	東京都	太平・山口	躯体	21/22.5	1.85	18	7/5~10	東京
都営住宅・東村山	SRC・14 F	東京都	西武・タケダ	躯体	21/22.5	1.85	18	7/5~10	東京

工 事 件 名	構造・階数	設計事務所 主 施	建 設 会 社	使用部位	設計強度 (N/mm ²)	コンクリ ート比重	スラン プ ㎝	工 期 年/月	地区
都営住宅・東村山	SRC・14 F	東京都	木内・中島	躯体	25	1.85	18	7/5～10	東京
YHP八王子	S・7 F	大林組	大林組	床	18/22.5	1.85	21	7/5～10	東京
都営住宅・東村山	SRC・14 F	東京都	小田急・新	躯体	25.5	1.85	18	7/5～10	東京
江ノ島マンション	S.SRC・		竹中工務店	床		1.85		7/5～10	神奈川県
都営住宅・立川大山	SRC・14 F	東京都	神崎・まつもと	躯体	21	1.85	18	7/5～10	東京
定山溪ビューホテル	SRC・16 F	山下設計	大成建設	床	24	1.84	18	7/5～11	北海道
M ² プラザ彦根	SRC・14 F		藤木建設	躯体・床	24	1.85	18/21	7/5～8/1	滋賀
錦糸町北口再開発	S・19 F	日本設計	清水・佐藤	床	21	1.65/1.85	18	7/5～8/3	東京
SANYビル	SRC・14 F	清水建設	清水建設	床	21～24	1.65	18	7/6～10	宮城
ナディアパーク	SRC・23 F	大建設	戸田他JV	床	21	1.85	18	7/6～10	愛知
ピアスタワー	SRC・28 F	日建設	東急・大林・養育	床	21	1.85	18	7/6～11	大阪
ユニライフ西大路	RC・11 F		森本組	躯体	21/22	1.85	18	7/6～12	京都
タクマ京都市ニカルセンター	RC・6 F		大成建設	床	21	1.85	18	7/6～12	京都
都営住宅小松川	S.RC・14 F	東京都	鴻池組	躯体	21	1.85	21	7/6～8/1	東京
綾瀬市庁舎	SRC・7 F	類設計	大林組	柱・梁・床	21/24	1.65/1.85	15/18	7/6～8/1	神奈川県
北陸アーバンビル	SRC・14 F	日建設	鹿島・前田・佐藤	床	21	1.90	18	7/6～8/2	富山
山下町SSKビル	S・16 F	日総建	大成建設	床	21	1.85	18	7/6～8/3	神奈川県
修養団本部ビル	S.SRC・16 F	日建設	フジタ・鹿島	床	21	1.65	18	7/6～8/3	東京
都民住宅・小金井	SRC・7 F	東京都	銭高組	躯体	24	1.85	18	7/7～8	東京
新習志津ターミナルビル	SRC・4 F	日建設	清水・大成・福岡他JV	屋上	21	1.90	18	7/7～8	新潟
光村印刷本社	S.SRC・12 F	安井建築設計	森本建設	床	21	1.80		7/7～8/2	東京
西脇中央市街地再開発(ホテル棟)	S・8 F	西脇設計連合	大和ハウス	床	22.5～27	1.85	15～18	7/7～8/3	兵庫
秀和新宿第一ビル	S・21 F	秀和	間組	床	21	1.85	18	7/7～8/3	東京
静岡県庁別館	SRC・21 F	梓設計	大林・フジ・六合他JV	床	21	1.85	18	7/7	静岡
第一火災海上	S・		大林組	屋上	21	1.90	18	7/8	新潟
みなとみらい21・24街	S.SRC・30 F	日建設	大成建設他JV	床	21～25.5	1.85	18～21	7/8～	神奈川県
大阪モノレール 長津原	SRC・		大日本土木	床	18	1.85	15	7/8～11	大阪
阿倍野B2地区D3-2棟	SRC・14 F	大阪市	森本組	床	21	1.85	18	7/8～12	大阪
パーク信託棟	SRC・25 F	大建設	戸田・竹中・三菱	躯体	21	1.90	18	7/8～12	愛知
神奈川トヨタ	S.SRC・10 F	久米設計	竹中工務店	PrC	30	1.85	15	7/8～12	神奈川県
山口県国際センター(高層棟)	SRC・10 F	NTTファシテーズ	竹中・豊谷・清池他JV	躯体	21	1.90	18	7/8～8/2	山口
金沢駅武蔵地区市街地開発	SRC・19 F	中島・ムラシナJV	清水・前田・真新他JV	床	21	1.90	18	7/8～8/3	石川
西脇中央市街地再開発(住宅棟)	S・15 F	西脇設計連合	大和ハウス	躯体	22.5～28.5	1.85	15～18	7/8～8/3	兵庫
熱海後楽園	SRC・17 F	竹中工務店	竹中工務店	床	21	1.80	18	7/9	神奈川県
アステージ摩マンション	SRC・9 F		清水建設	床	24	1.75	18	7/9～12	大阪
神田PCM	SRC・8 F	林正樹建築設計	竹中工務店	躯体	21	1.85	21	7/9～12	東京
全国市町村会館	S・13 F	日建設	戸田建設	床	24	1.75	18	7/9～12	東京
栃木県合同庁舎	S.SRC・13 F	日本設計	熊谷組	床	21	1.85	18	7/9～8/1	栃木
八幡屋中央体育館	・	日建設	大林・西松・浅沼	屋根・床	18	1.85	15	7/9～8/1	大阪
横川5丁目再開発	SRC・14 F	都市建築研究所	安藤・坂田	床	27	1.85	18	7/9～8/3	東京
多摩庁舎	SRC・6 F	類設計	熊谷組	床		1.85		7/10～	神奈川県
東海濃粉本社ビル	S・9 F	日総建	住友建設	床	21	1.60	18	7/10	静岡
ロイヤルメドウ花園	SRC・9 F	鹿野建築事務所	鉄建建設	躯体	25.5	1.85	18	7/10～12	大阪
三菱商事研修所	SRC・13 F	三菱地所	竹中工務店	躯体	21	1.85	18	7/10～8/1	東京
国分寺ターミナルビル	SRC・11 F	交建設	西松建設	躯体	21	1.85	18	7/10～8/2	東京
設計健保会館	S.SRC・5 F	山下和正	戸田建設	床	21	1.85	18	7/10～8/3	東京
亀有共同	SRC・10 F	構造設計	三浦工務店	床	21	1.85	18	7/10～8/3	東京
ホテルアカシヤ	SRC・17 F	北海道日建設	竹中・戸田・前田	床	18～27	1.90	18	7/10～8/6	北海道
愛媛FAZ	SRC.RC・4 F	愛媛県土木部	豊谷組・門屋組	床	21	1.80	21	7/11～8/1	愛媛
パチンコシーランド自走駐車場	RC・3 F	新建築設計	青木建設	床	24	1.80	18	7/11～8/2	富山
山口県国際センター(タワー棟)	SRC・4 F	NTTファシテーズ	竹中・豊谷・清池他JV	躯体	21	1.65	18	7/11～8/3	山口
新今治国際ホテル	S・19 F	観光企画	清水建設	床	21	1.80	18/21	7/11～8/3	愛媛
バスラールトヨサト	RC・2 F		松村組	床	21	1.85	18	7/12	滋賀
泉大津ベイタワー	S・19 F	梓設計	大成建設他JV	床	21	1.85	15	7/12～	大阪
扇町キッズパーク	SRC・12 F	安井建築設計	竹中・大林・住友・清池	床	21	1.85	18	7/12～	大阪
ホテルラフォーレ新大阪	S・18 F	竹中工務店	竹中工務店	床	21	1.85	18	7/12～	大阪
中野坂上一丁目	S.SRC・29 F	日本設計	大成建設	床		1.75		7/12～	神奈川県

工 事 件 名	構造・階数	設計事務所 施 主	建 設 会 社	使用部位	設計強度 (N/ mm ²)	コンクリ ート比重	スラン プ cm	工 期 年/月	地区
RC横浜	S.SRC・30F	日本設計	清水建設	床	—	1.85	—	8/1~2	神奈川
コトデン瓦町ビル	S.SRC・11F	石本建築設計	大成・東急	PrC	30	1.9~2.0	5~8	8/1~3	香川
USK瓦町ビル	鋼骨J.S・8F	清水建設	清水建設	床	21	1.65	18	8/1~3	栃木
関谷住宅第三期建設	S・14F	大阪市	阜設木村	床	21	1.85	18	8/1~7	大阪
関西国際センター	SRC・18F	木村俊彦構造	竹中他 JV	床	25.5	1.85	18	8/2~	大阪
住友生命コスモスクエア	S.SRC・15F	日建設計	大林他 JV	床	21	1.95	18	8/2~	大阪
(土木関係)									
両軍橋	—	建設省	川田建設	床 版	24	1.85	8	6/4~7	長野
潮騒橋	—	静岡県	住友建設	床版・床版	40	1.85	8~15	6/6~12	静岡
北陸新幹線第3千曲川鉄橋架設	—	鉄道建設公団	藤田・川重・サクラダ	床 版	27	1.80	12	7/1~3	長野
北陸新幹線犀川鉄橋架設	—	鉄道建設公団	駒井鉄工	床 版	27	1.80	12→18	7/1~8/2	長野
出島川橋補修	—	建設省	オリエンタル	桁	18	1.80	—	7/2	徳島
阪神高速池田線大豊大橋補修	—	阪神高速道路公団	富士技研	床 版	18	—	—	7/2~3	兵庫
北陸新幹線犀川橋梁	—	鉄道建設公団	川田工業他JV	床版・路盤	24	1.85	12→18	7/5~9	長野
神鋼ケミカル岸壁(霞吹復旧)	—	神鋼ケミカル	東亜建設工業	軽量盛土	—	—	—	7/6~7	兵庫
厚東川舗装工事	—	建設省	前田道路	路 盤	15	1.70	8	7/6~8	山口
R394城ヶ倉大橋整備	—	青森県	川田工業他 JV	床版・歩道	24	1.70	12→18	7/7~10	青森
北陸新幹線第3千曲川鉄橋	—	鉄道建設公団	横河ブリッジ・IHI	床版・路盤	24	1.85	12→18	7/9~12	長野
鳥羽下流	機械据付	京都市下水道局	竹島	シンダー	21	1.85	18	7/9~12	京都
福知山、武庫川架設他	—	鉄道建設公団	川崎重工業	床 版	24/30	1.85	12→18	7/10~11	兵庫
本合海大橋床版修繕	—	建設省	古久根建設	床 版	28	1.85	12→18	7/10~12	山形
国際文化公園都市モノレール大阪府院駅	—	大阪府	西松・貝原	床	24	1.75	12→18	7/11~12	大阪
山梨リニア実験線小形山架設	—	鉄道建設公団	横河ブリッジ	PC床版	40	1.85	12→18	7/11~8/1	山梨
ポートアイランド岸壁築造	—	運輸省	中林建設	ケーソン枠	18	1.85	70~50cm	7/11~8/1	兵庫
桜川橋床版修繕	—	建設省	ショーボンド建設	歩道部	18	1.80	—	7/12	山形
第二阪奈道路	—	北田建設	大成建設	—	18	1.65	18	8/2	大阪
東大阪市親善緑地公園	—	東大阪市	フジタ	軽量盛土	—	—	—	8/2~	大阪
ポートアイランド岸壁築造	—	運輸省	東亜建設工業	軽量盛土	—	—	—	8/2~3	兵庫

宇部興産(株)

〒105-8449 東京都港区芝浦1-2-1 シーバンスN館
☎03-5419-6201 FAX.03-5419-6267

住友大阪セメント(株)

〒102-8465 東京都千代田区六番町6-28
☎03-5211-4752 FAX.03-3221-5624

太平洋マテリアル(株)

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-8-15 ネオカワイビル
☎03-3278-5320 FAX.03-3278-5360

日本メサライト工業(株)

〒273-0017 千葉県船橋市西浦3-9-2
☎047-431-8138 FAX.047-431-2464

三菱マテリアル(株)

〒100-8117 東京都千代田区大手町1-5-1 大手町ファーストスクエアWEST
☎03-5252-5480 FAX.03-5252-5510

人工軽量骨材コンクリート技術資料 No.12

発行 初版 1997年 3月25日
第二版 2004年12月25日

発行人 人工軽量骨材(ALA)協会 (発行責任者 藤木英一)
(ALA; Artificial Light-Weight Aggregate Association)
〒110-0005 東京都台東区上野1-12-2 亀田ビル
☎FAX.03-3837-0445
E-mail:ala@chive.ocn.ne.jp
<http://www3.ocn.ne.jp/~ala/>