

ALA CONCRETE

耐久 性

人工軽量骨材コンクリートの耐久性について

ご／あ／い／さ／つ

当協会におきましては、人工軽量骨材コンクリートの特性をより良く活用していただくために、先に技術資料 No.1「床の遮音」、No.2「ポンプ施工」を発行しましたが、この度 No.3「耐久性」を作成しましたので、お届けいたします。

参考資料として、ご利用いただければ幸甚であります。

今後とも、人工軽量骨材業界およびコンクリート業界の発展のために、皆様方のご指導とご鞭撻をお願い申し上げます。

人工軽量骨材協会

昭和61年 6 月

61年度 技術課題

1. 建設省通達の高強度軽量コンクリート設計基準強度の見直し ($270\text{kg}/\text{cm}^2 \rightarrow 360\text{kg}/\text{cm}^2$)。
2. 建設省通達による高強度軽量コンクリートのポンプ施工の認定。
3. 建設省、高層 RC 壁式ラーメン構法に関する軽量コンクリートの試験協力と指針化。
4. 軽量コンクリートの技術資料の作成。
No.4 軽量コンクリートの力学的特性。
No.5 高強度軽量コンクリート。
5. 軽量コンクリートの技術説明会の実施。

目 次

1. まえがき	1
2. 中性化	1
3. 塩分、錆	4
4. ひびわれ	5
5. 耐凍害性	8
6. アルカリ骨材反応	12
7. ま と め	14

1. ま え が き

鉄筋コンクリート構造物は耐久性に優れ、耐用年数は長期にわたるものであるが、近年、各方面で報告されたコンクリート構造物の劣化に関する事例は、コンクリートの耐久性についての対応策について提起されているものが多い。そして、これを契機に各分野において、コンクリートの耐久性に関する検討が行われている。建設省の総合技術開発プロジェクトでは「コンクリートの耐久性向上技術開発」について目下取り組み中であり、また、日本建築学会や土木学会においても耐久性を主眼とした仕様書・示方書の改訂作業が実施中で、これらの成果が注目されている。

我が国において、人工軽量骨材が使用されてから20年以上経過しており、数多くの人工軽量骨材コンクリート（以下、軽量コンクリート）の耐久性に関する研

究や使用事例の報告がなされている。

本資料は、これら軽量コンクリートの耐久性に関する技術資料や既設構造物の調査報告等、その成果を要約したもので、参考資料としてご利用いただければ幸いです。

2. 中 性 化

(1) コンクリートの中性化

コンクリートの中性化は、コンクリート中の水酸化カルシウムが大気中の炭酸ガスの影響を受けて炭酸カルシウムに変わり、アルカリ性を失い中性化するものである。また、コンクリートの中性化に与える要因はセメントの種類、セメント量、水セメント比 (W/C)、材令、打込み方法、仕上げ方法等がある。

(2) 促進試験による中性化

図1に示すように、W/Cが30、35、40、45%の試験範囲では気中養生のほうが水中養生よりも中性化はやや大きくなっているが、促進中性化期間4カ月ではW/C 45%で、1種および2種軽量コンクリートにおいては、普通コンクリートを1とした場合それぞれ0.53、0.73の比率になっており、W/C 30%では普通コンクリート、軽量コンクリートともほとんど中性化は進んでいない。これはコンクリートの表面部分が乾燥するのに伴って、軽量骨材中の水分がコンクリート中の水酸化カルシウムを溶解しながらコンクリート

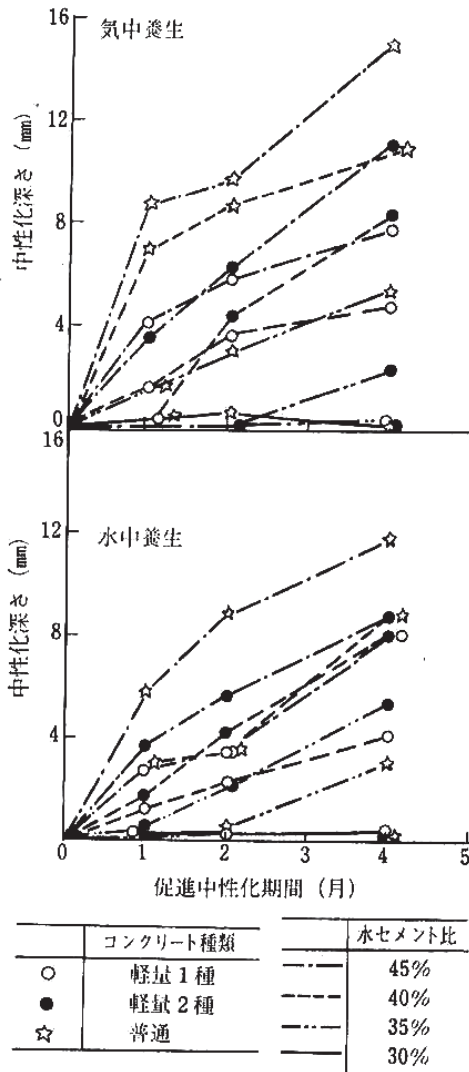


図1 促進中性化期間と中性化深さとの関係¹⁾

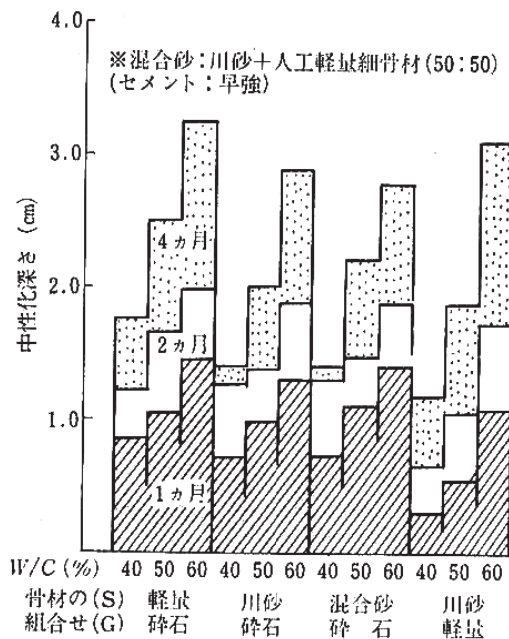


図2 各種コンクリートの中性化²⁾

表1 軽量コンクリートの中性化³⁾

		R-1 川砂+川砂利	R-2 川砂+川砂利	R-3 川砂+川砂利	M-1 細粗メサラ イト	M-2 細粗メサラ イト	M-3 細粗メサラ イト	O 川砂+大島	
中 性 化 比 率	1 カ 月	上下	1	1	1	1.9	0.8	1.0	2.7
		側面	1	1	1	2.3	2.2	2.2	1.3
		平均	1	1	1	1.4	1.2	—	1.3
		1	1	1	1	1.9	1.4	1.6	1.8
3 カ 月	上下	1	1	1	1.8	1.4	1.0	3.1	
		側面	1	1	1	1.2	1.7	1.4	1.9
		平均	1	1	1	1.9	1.3	1.4	1.6
		1	1	1	1.6	1.5	1.3	2.2	

注(1) Rは川砂・川砂利コンクリート, Mは膨張けつ岩コンクリート, Oは天然火山れき, 川砂コンクリートを表す
 (2) M-1はR-1を, M-2およびOはR-2を, M-3はR-3をそれぞれ1としたときの中性化率を表す

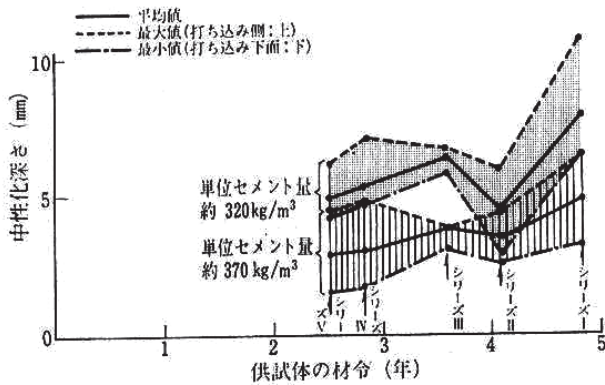


図3 普通コンクリートの中性化⁴⁾

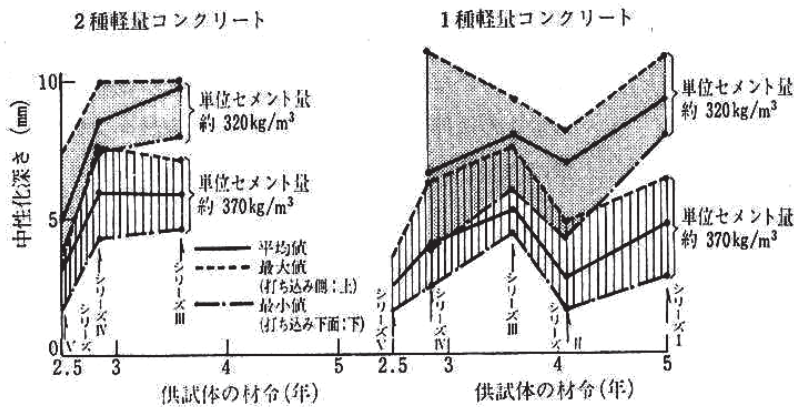


図4 軽量コンクリートの中性化⁴⁾

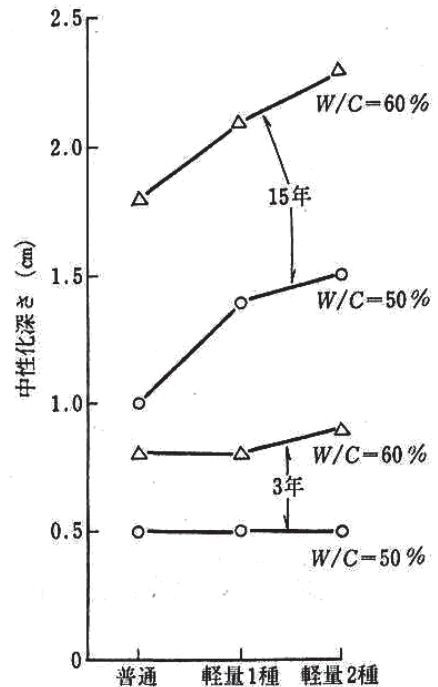


図5 屋内暴露における中性化深さ⁵⁾

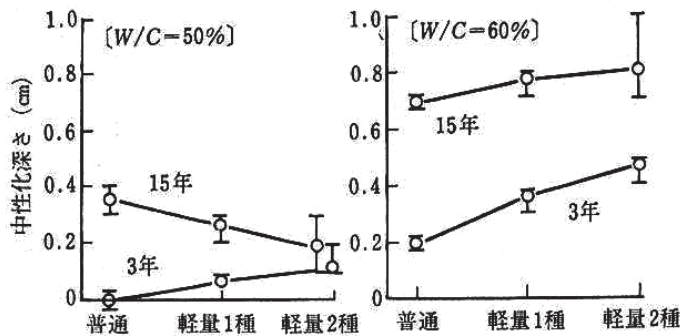


図6 屋外暴露における中性化深さ⁵⁾

表面に移動し、アルカリ度の減少を補うためと考えられる。

図2は各種コンクリートの中性化深さであるがW/C 40, 50, 60%の試験範囲では、普通コンクリートに比べて軽量コンクリートを1とした場合0.9~1.17の比率となっている。またすべての組合せにおいて、水セメント比の小さいコンクリートほど、中性化深さが小さいことが分かる。

表1に示すように軽量コンクリートの中性化は、普通コンクリートを1としたとき0.8~2.3の比率になっているが、コンクリートの打込み面により、中性化に変化のあることを示している。

(3) 暴露試験による中性化

① 室内暴露

図3, 図4において中性化深さは、軽量コンクリート、普通コンクリートとも単位セメント量の少ないものほど大きくなっており、また軽量コンクリートは普通コンクリートに比べるとやや大きな値となっている。また打込み面上部では下面よりも中性化は大きい。これはブリージングの影響と思われる。

図5に示すように、軽量コンクリートは普通コンクリートに比べ材令3年で中性化深さはあまり差はないが、W/C 50%より60%のほうが大きくなっている。

材令15年でもW/C 50%より60%のほうが中性化は大きく、W/C 60%の場合でみると、普通コンクリートに比べ、1種および2種軽量コンクリートはそれぞれ1.22, 1.27の比率となっている。

② 屋外暴露

図6に示すように、W/C 50%よりも60%のほうが材令とともに中性化は大きくなっている。材令3年で

はW/C 50%で普通コンクリート、1種および2種軽量コンクリートの順に大きくなっており、材令15年では逆の傾向を示している。

W/C 60%では材令とともに普通コンクリート、1種および2種軽量コンクリートの順に大きくなっており、普通コンクリート1に対して、それぞれ材令3年で約2.01, 2.25, 材令15年で1.07, 1.14の比率になっているが、中性化深さは0.1~0.8cmと小さい。

表2に示すように、寒冷地において暴露したコンクリートの中性化比率は、既往の促進試験結果と同じ傾向を示し、普通コンクリート、1種および2種軽量コンクリートの順になっている。また、1種および2種軽量コンクリートでは、混和剤の効果はAE剤、AE減水剤の差がほとんどない。

(4) 中性化の抑制

① 水セメント比をできるだけ小さくする。

② コンクリートの打込みについてもスラブを小さく、密実なコンクリートとし、締固めにも留意する。

③ コンクリート表面の仕上げ材料も、図7に示すように透気係数の大きい材料ほど中性化の影響を受けるので、透気係数の大きいものは避ける。

表2 中性化比率⁶⁾

材令	暴露条件	軽量コンクリート				普通コンクリート	
		1種		2種		AE剤	AE減水剤
		AE剤	AE減水剤	AE剤	AE減水剤		
7年目	直接	0.45	0.52	0.67	0.71	0.40	0.37
	間接	1.21	1.27	1.76	1.68	1.23	1.00
17年目	直接	0.45	0.50	0.60	0.65	0.41	0.33
	間接	1.08	1.12	1.30	1.14	0.92	0.79

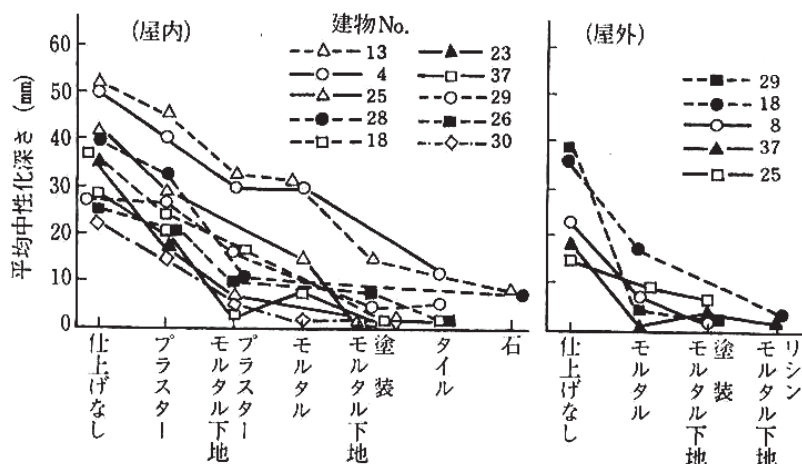


図7 中性化深さに及ぼす仕上げ材の影響⁷⁾

④ これまでの資料からも分かるように、軽量コンクリートの中性化は総体的に普通コンクリートと大差なく、鉄筋のかぶり厚さについても、普通コンクリートと同程度でも特に問題はないと考えられる。

3. 塩 分, 錆

コンクリートに使用する材料の中に含まれる塩分および硬化コンクリートの表面部分より浸透する塩分は、コンクリート中の鋼材を錆させ、亀裂の発生を招くことは周知のことである。人工軽量骨材は海砂に比べ塩分を全く含有しておらず、同一条件下では軽量コンクリート中での錆の発生は、普通コンクリートに等しいかそれ以下となっている。

(1) 促進暴露試験 (20サイクル)

表3に水セメント比-塩分量と鉄筋の腐食状況の関係を示す。塩分量が0.04%の場合、どのような水セメント比でもD型腐食を生じていない。塩分量が0.1%以上になると、普通コンクリートでは水セメント比60%でD型腐食がみられるが、軽量コンクリートでは全

表3 水セメント比-塩分量と鉄筋腐食状況 (基本シリーズ)⁸⁾

コンクリート 塩分量 NaCl (%)	W/C	普通コンクリート			軽量コンクリート		
		65	55	50	60	55	50
0		G			N		
0.04		G			N		
0.1		D	G(N)	N(N)	N	N(N)	N(N)
0.2		D		(N)	D		(N)
0.3		D			D		

G : G型腐食がみられる D : D型腐食がみられる
 N : 全く腐食がみられない
 D型 : 進行性腐食形態 G型 : D型ではない腐食形態
 ()内 : 防せい剤を使用した試験体における場合

表4 水セメント比-塩分量と鉄筋腐食状況 (流動化シリーズ)⁸⁾

コンクリート 塩分量 NaCl (%)	W/C	普通コンクリート				軽量コンクリート			
		55		50		55		50	
		無	有	無	有	無	有	無	有
0.1		G	N			G	N		
0.2				D	D			*	N

* 上段 : スランフ 18→22cm 下段 : スランフ 12→22cm

く腐食はない。しかし水セメント比60%で、塩分量が0.2%になるとD型腐食がみられる。

また軽量コンクリートは、普通コンクリートに比して通気性が大きいと考えられ、1種軽量コンクリートに海砂を使用した場合、普通コンクリートより鉄筋腐食については不利と考えられているが、普通コンクリートにおける場合よりむしろ優位と思われる結果を示している。

塩分量-鉄筋腐食量と鉄筋腐食状況の関係を図8に示す。塩分量が0.04%を超えるとD型腐食がみられるので、軽量コンクリートも普通コンクリートと同様に安全を考えて、塩分量は0.04%と考えるほうがよい。

流動化したコンクリートでも表4に示すように防せい剤を使用した場合、塩分量0.1%では普通コンクリートも軽量コンクリートも鉄筋腐食は同じような傾向であるが、塩分量0.2%では、普通コンクリートは鉄筋腐食がみられるが、軽量コンクリートでは鉄筋腐食はみられない。

(2) 海洋構造物

図9に示す海上荷揚げ棧橋は基礎に軽量コンクリートが使用され、構築後15年目の調査をしたが、スプラッシュゾーン部分より採取したコアサンプルと、コンクリート打込み時に作成し海中に沈めていたコンクリート塊の塩分量も測定した。

図10に示すように、スプラッシュゾーンで表面に近い部分では、軽量コンクリートのほうが普通コンクリートに比べ塩分量は多くなっているが、深部(5~27cm)に行くほど塩分量は少なくなっている。普通コン

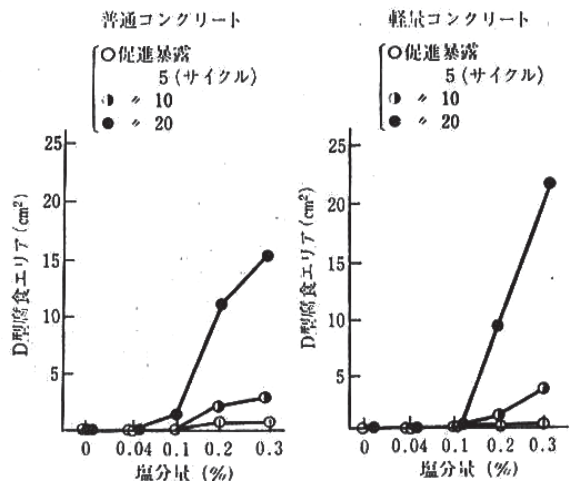


図8 各種コンクリートにおける塩分量と腐食エリアとの関係⁸⁾

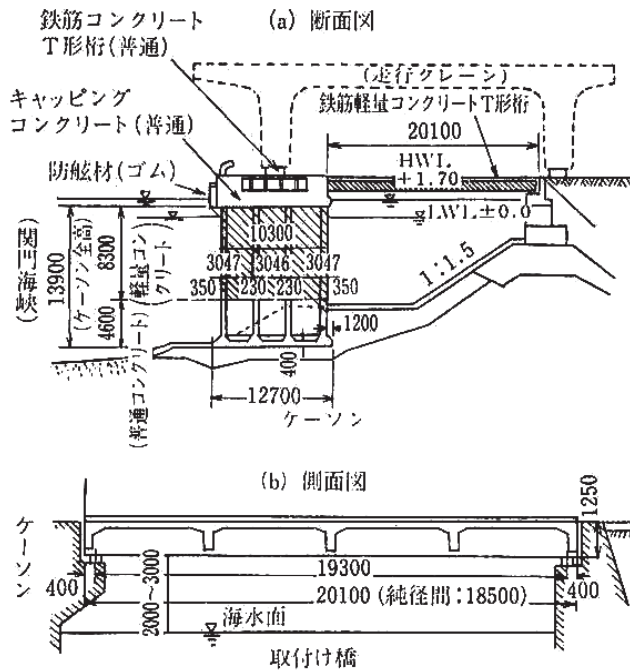


図9 ケーソン一般図⁹⁾

クリートは逆に深部(5~27cm)になるほど、塩分量は軽量コンクリートより多くなっている。

軽量コンクリート塊でも塩分量はスプラッシュゾーンと同様な傾向を示している。

軽量コンクリートの塩分の浸透が普通コンクリートより少ないのは、軽量骨材中に浸透圧の関係で塩分が吸着されることが想定されるという報告もある。

(3) 塩分、錆の対応

- ① 人工軽量骨材は塩分を全く含有していないので、塩分に対する特別な考慮は必要としない。
- ② 1種軽量コンクリートで海砂を使用する場合には、規定値を超えないように除塩を十分に行うことが必要である。
- ③ また塩分量が規定値を超える場合は、混和剤および防せい剤の使用等について、普通コンクリートと同じように考慮されることが望ましい。

4. ひびわれ

コンクリートのひびわれは発生原因が多岐にわたるために、発生位置と発生時期の予想をつけることは困難である。また軽量コンクリートに関するひびわれについての報告等も少ない。しかし一般的には、軽量コンクリートはひびわれが小さいと理解されている。

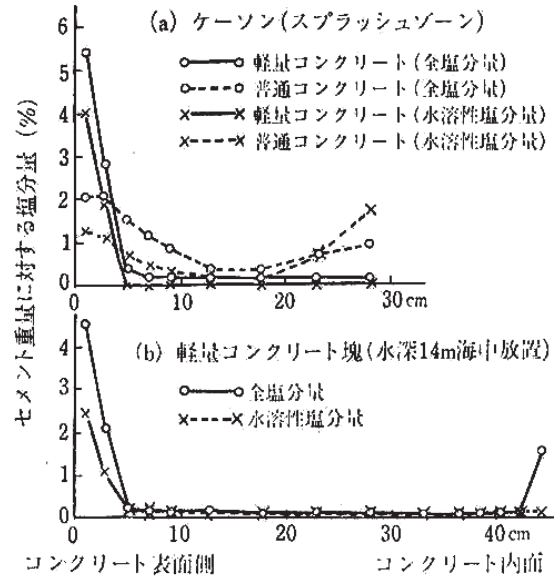
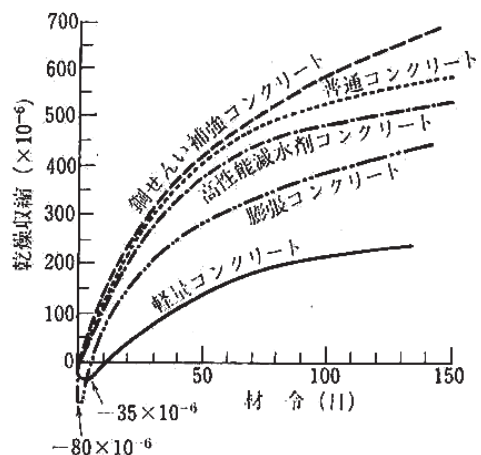


図10 塩分浸透度調査⁹⁾

図11に乾燥収縮とひびわれの関係を示すが、軽量コンクリートは、同一条件下では乾燥収縮が普通コンクリートより小さい。これは人工軽量骨材中の水分が、コンクリートの表面部分に補給されることにより乾燥収縮を緩和し、ひびわれの抑制に役立っていると考えられる。以下に軽量コンクリートのひびわれに関する事例調査の概要を記す。

(1) トンネル2次覆工の事例(東京都下水道局)

図12に示すように、軽量コンクリートのひびわれは普通コンクリートに比べ少ない結果を示している。またひびわれの発生時期も、軽量コンクリートのほうが普通コンクリートより遅いし、普通コンクリートは長



保存: 20°C, RH60%
供試体: 12×30×40cm
(30×40cm面より乾燥)

図11 乾燥収縮測定結果¹⁰⁾

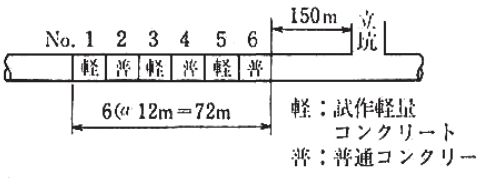
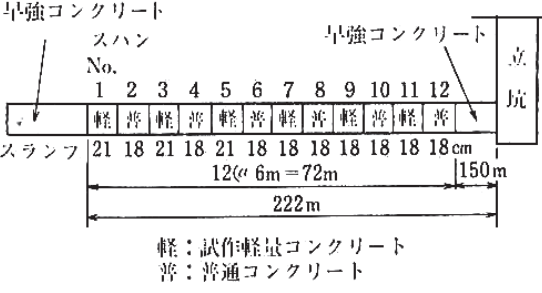
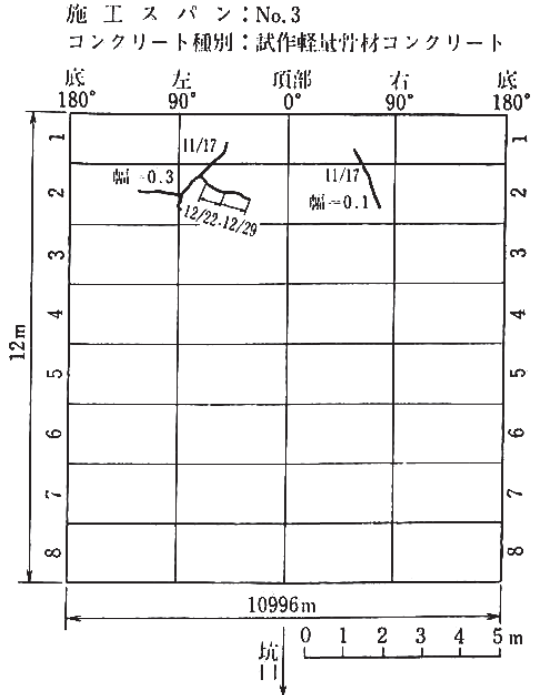
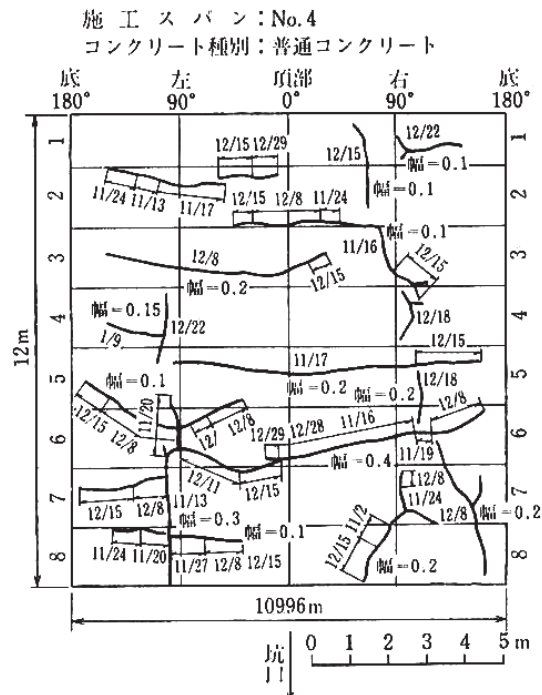


図12 ひびわれの発生状況¹²⁾

表5 軽量コンクリート床版の実情⁹⁾ (昭57.6現在)

路線	床版面積 (m ²)	供用開始年度	断面交通量 (台) (昭57.1調べ)	点検結果					
				年度	判定 (%)				
					A	B ₁	B ₂	C	D
1号線(上り)	6435	44	32600	52			1.0	36.3	62.7
4号線(Ⅱ)	87072	48	76400	55			2.4	8.4	89.1
6号線(Ⅰ)	26176	45	27700	56			0.4	12.2	87.4
6号線(Ⅱ)	85800	56	21200						
7号線	55358	45	92400	56			0.2	8.6	91.2
横羽線(Ⅰ)	32951	43	73700	53, 55, 56		0.7	1.4	16.4	81.5
横羽線(Ⅱ)	24387	53(一部47)	42400						
高市線(Ⅰ)	11862	53(一部47)	32800						
計	330041								

表6 普通コンクリートと軽量コンクリートの損傷比較⁹⁾ (昭57.6現在)

路線	コンクリート	点検格間または総パネル数 N	点検結果					B ₂ +C / N (%)	
			A	B ₁	B ₂	C	D		
6号線	普通	通量	6423			108	2615	3700	42.4
		計	4741			20	579	4142	12.6
			11164			128	3194	7842	29.8
7号線	普通	通量	5430			114	1047	4269	21.4
		計	7634			17	653	6964	8.8
			13064			131	1700	11233	14.0

期に亘ってひびわれが進行している。

(2) 高速道路の事例 (首都高速道路公団)

昭和43年~53年度に供用された道路橋の軽量コンクリート床版のひびわれ調査では、表5、6に示すように、軽量コンクリートのひびわれ発生状況は全体の10%ほどになんらかのひびわれが認められる程度で、普通コンクリートに比べて約1/3であり、発生したひびわれ幅は最大0.11mmであった。

(3) 高円寺駅プラットホームの事例 (国鉄)

表7に示すように、軽量コンクリートの外観検査によるひびわれ発生状況は、桁部では各柱間で約3本のクラック (長さ1.2~1.3m, クラック幅0.1~0.3mm) が認められ、一方、プラットホーム部では軸方向にクラック (長さ1.5~1.8m, クラック幅0.3mm) が連続的に入っている。また局所的にヘアクラックが認められたが剝落はなかったと報告している。

表7 外観検査一覽⁹⁾

(a) 軽量コンクリート部

種別	位置	柱7~柱6間側壁			柱6~柱5間側壁			柱5~柱4間側壁		柱4~柱3間側壁	
		1.815			1.824			(クラック状況)		(クラック状況)	
上り線側壁 (内側)	単位容積重量 (t/m ³)	1.815			1.824			(クラック状況)		(クラック状況)	
	中性化深さ (cm)	No.	内側	外側	No.	内側	外側	側壁部	垂直方向に3本のクラック入る (長さ1.2m)。局所的に長さ0.5m前後のクラックあり クラック幅0.1~0.3mm。中央に長さ0.5mのクラックあり (幅0.2mm)	斜め方向に3本のクラック入る (長さ1.2~1.3m)。クラック幅0.1~0.3mm。中央に長さ0.5mのクラックあり (幅0.2mm)	
		No. 4	1.5~2.0	0~1.0	No. 1	2.0~3.0	—				
		No. 5	1.0~2.0	1.0~2.0	No. 2	1.0~2.5	0				
コア強度 (kg/cm ²)	No. 4	圧縮	313	No. 1	圧縮	446	天井部	ホーム軸方向に長さ1.5mのクラック入る。局所的に小クラックあり	ホーム軸方向にほぼ連続するクラックあり。長さ約1.8m, 幅0.3mm。その他ところどころ強いクラックあり		
	No. 5	割裂	13.7	No. 2	圧縮	478					
	No. 3	割裂	27.7	No. 3	割裂	27.7					
非破壊強度 (シュミットハンマー) (kg/cm ²)	No. 1	525		No. 3	459		天井部	ホーム軸方向に長さ1.5mのクラック入る。局所的に小クラックあり	ホーム軸方向にほぼ連続するクラックあり。長さ約1.8m, 幅0.3mm。その他ところどころ強いクラックあり		
	No. 2	397		No. 4	470						
下り線 (内側)	非破壊強度 (シュミットハンマー) (kg/cm ²)	No. 7	354		No. 5	471		天井部	ホーム軸方向に長さ1.5mのクラック入る。局所的に小クラックあり	ホーム軸方向にほぼ連続するクラックあり。長さ約1.8m, 幅0.3mm。その他ところどころ強いクラックあり	
		No. 8	421		No. 6	404					

(b) 普通コンクリート部

種別	位置	柱1~柱2間側壁			柱2~柱3間側壁			柱3~柱4間側壁		
		2.474			2.492			2.550		
上り線桁側壁 (内側)	単位容積重量 (t/m ³)	2.474			2.492			2.550		
	中性化深さ (cm)	No.	内側	外側	No.	内側	外側	No.	内側	外側
		No. 6	1.0~3.0	1.0~3.0	No. 8	1.5~2.0	0.5~2.0	No. 10	1.0~2.0	0.5~1.0
コア強度 (kg/cm ²)	No. 7	1.0~2.0	0.5~2.0	No. 9	1.0~2.0	0.5~1.0				
	No. 6	圧縮	319	No. 8	圧縮	309	No. 10	割裂	30.0	
非破壊強度 (シュミットハンマー) (kg/cm ²)	No. 7	割裂	18.5	No. 9	圧縮	320				
	No. 1	483		No. 3	510					
上り線 (外側)	非破壊強度 (シュミットハンマー) (kg/cm ²)	No. 2	482		No. 4	491				
		No. 5	427							
		No. 6	404							

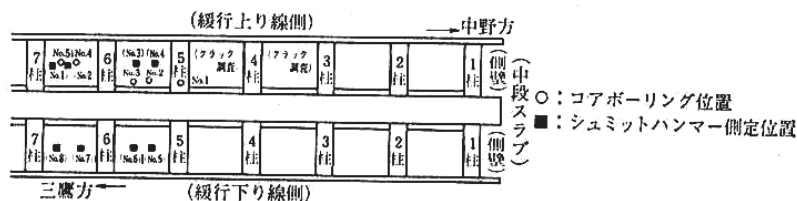
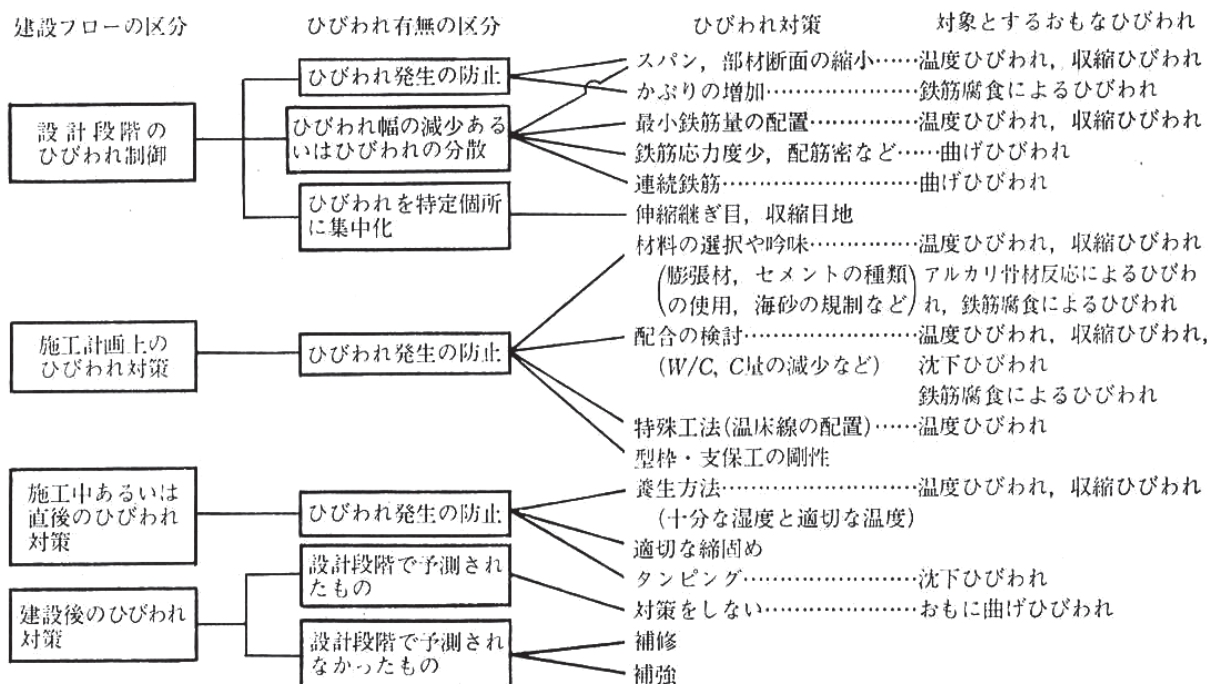


図13 測定箇所測面⁹⁾

表8 RC構造物のひびわれ対策¹⁾



(4) ひびわれの抑制

軽量コンクリートは、これまでに述べてきたように普通コンクリートに比べ良好な結果を示しているが、RC構造物のひびわれは表8に示すように多岐にわたるため、ひびわれの抑制については設計、施工の各段階における細心のチェックと対策が望ましい。

5. 耐凍害性

(1) 軽量コンクリートの耐凍害性

一般にコンクリートの凍害は、コンクリート中の硬化セメントペーストおよび骨材中の水分が凍結膨張を起こす温度以下になった場合に起こる現象で、特に凍結融解作用の繰返しによって生ずる。

軽量コンクリートの耐凍害性は、一般に普通コンクリートに比べ低いとされているが、それは主に人工軽量骨材の吸水に起因するものである。

すなわち、人工軽量骨材の吸水率は、施工時のポンプ圧送に支障をきたさないよう通常粗骨材で25~28%程度の高吸水性が使用されており、この骨材の水分がペースト中の水とともに、凍結時において膨張圧を生ずるためである。しかしAEコンクリートとしてコンクリート中の空気量を増加することにより、この膨張圧が緩和され、耐凍害性がかなり改善されることが知られており、我が国における通常の寒冷地では支障な

く使用されている。

次に軽量コンクリートの凍結融解に関する実験例を記す。

図14は表9の各種コンクリートのうち、スランプ21cm, W/C 50%の1種および2種軽量コンクリートについて、表10に示す骨材の吸水状態と耐久性指数(D F)との関係を示したものであるが、使用する骨材の吸水量が大きくなるにつれて耐久性の低下の傾向がみられる。

図15は、コンクリート中の全水量と耐久性指数との関係を示したものであるが、両者の間にはかなりの相関関係があることが分かる。

図16は、表11に示す各種の試験方法による凍結融解試験結果であって、絶乾状態の骨材を用いたA-1コンクリートでは、いずれの試験条件でも試験後の動弾性係数は試験前の値と同等か、それより高い値を示している。これは材令による強度の増加に起因するものと考えられる。

またじゅうぶん含水させた骨材を用いたA-1, B-1のコンクリートでも、1日1回程度の緩速で凍結融解の作用を受ける状態では、本試験結果においては、絶乾状態と同様に凍結融解による劣化はまったく認められなかった。

表12, 表13は、岐阜県神岡町における軽量コンクリートおよび普通コンクリートの暴露方法の異なる17年間における動弾性係数の試験結果である。

表9 コンクリートの種類と配合¹³⁾

コンクリートの種類および記号	使用時の骨材の状態	表面活性剤の種類	空気量 (%)	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)
粗:A 細:川砂 (A-1)	じゅうぶん吸水	AE剤	6 ± 1	21	60	46	206	344
	"	"	"	21	50	44	205	410
	"	"	"	21	45	42	216	480
	"	"	"	12	50	41	178	356
	"	"	"	5	40	41	162	405
	24時間吸水	"	"	21	50	44	205	410
	絶乾	"	"	21	50	44	205	410
粗:A 細:A (A-2)	じゅうぶん吸水	AE剤	6 ± 1	21	50	44	207	414
	"	"	"	21	45	41	215	477
	"	"	"	12	50	42	173	346
	"	"	"	5	40	41	175	438
	24時間吸水	"	"	21	50	45	203	406
	絶乾	"	"	21	50	44	207	414
	じゅうぶん吸水	減水剤	"	21	50	45	183	366
粗:B 細:川砂 (B-1)	じゅうぶん吸水	AE剤	6 ± 1	21	50	42	194	388
	"	"	"	12	50	40	178	356
	"	"	"	5	40	40	170	425
	絶乾	"	"	21	50	42	194	388
	じゅうぶん吸水	減水剤	"	21	50	42	179	358
粗:川砂利 細:川砂 (R)	—	AE剤	6 ± 1	21	50	37	186	372
	—	"	"	21	45	35	196	436
	—	"	"	12	50	34	152	304
	—	"	"	5	40	34	148	370
	—	減水剤	"	21	50	37	171	342

注 A, Bは人工軽量骨材

表10 使用時の骨材吸水量¹³⁾ (%)

吸水状態	絶乾骨材			24時間吸水			じゅうぶん吸水		
	A	B	河川	A	B	河川	A	B	河川
粗骨材	0.1	0.1	—	7.6~8.4	—	0.7	15.5~17.6	3.9	—
細骨材	0	—	—	5.3	—	1.9	9.9	—	—

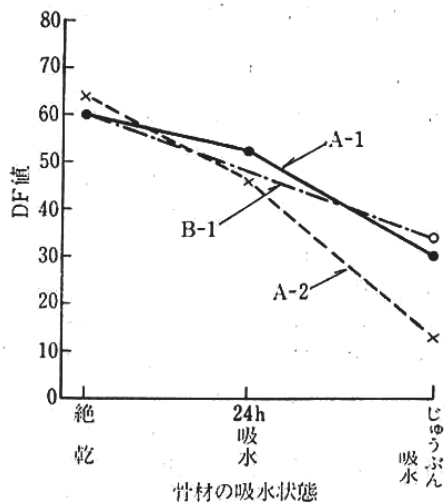


図14 骨材の吸水状態とDF値との関係¹³⁾

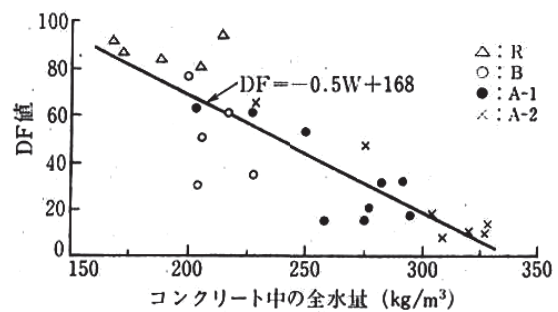


図15 コンクリート中の全水量とDF値との関係¹³⁾

表11 試験方法一覧表¹³⁾

試験の種類	温度範囲(°C)	試験開始材令	繰返し速度	備考
水中における急速凍結融解試験 (ASTM C 290-61Tに準ずる)	-17.8~+5	基準：2週， その他4週， 13週のものもある	5~6回/日	4週，13週で試験を開始した配合については表9を参照されたい。ただし，4週，13週まで水中養生したものと，2週までは水中養生し，その後4週，13週までそれぞれ20°C，55% RHの恒室内で乾燥養生したものがある
気中における急速凍結融解試験 (ASTM C 291-61Tに準ずる)	-17.8~+5	2週	4~5回/日	この試験方法では相対弾性係数がほとんど変化しなかったためこの試験を120サイクルで中止し，その後は気中，水中を約20サイクルごとに繰り返す急速試験に切り替えた
気中凍結・水中融解緩速試験(低温コンテナ使用)	-10~+20	2週	1回/日	緩速試験のため，100~130サイクルで試験を打ち切った
片面水中浸漬による緩速凍結融解試験	-10~+20	2週	1回/日	下部3cmを浸水させ，上部7cmを-10°Cの気中に露出させた。ただし，気中に露出させた部分は，全面を防乾用塗膜でおおった 緩速試験のため，120~150サイクルで試験を打ち切った

表12 暴露方法¹⁴⁾

暴露条件	養生および暴露方法
(a)直接暴露	直射日光，外気，降雨にさらされるコンクリートスラブ上に暴露
(b)室内暴露	試験用小屋内で気温，湿度は戸外とほぼ同様な条件
(c)密封暴露	所定養生後，24時間水中に浸漬し表乾作成後ポリエチレンフィルムで4層に密封し，(a)と同一条件で暴露
(d)密封暴露	所定養生後の供試体を気乾とみなし密封し，(a)，(b)と同一条件で暴露

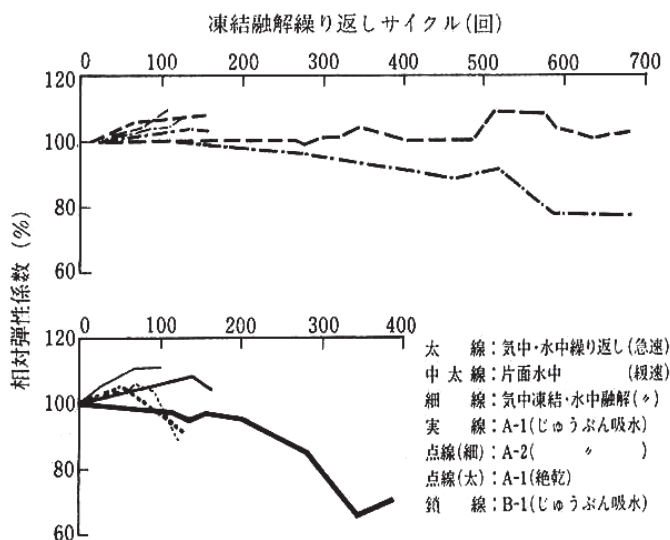


図16 凍結融解試験条件の影響¹³⁾

表13 コンクリート暴露条件別の動・静弾性係数の経年変化¹⁴⁾

		動弾性係数(×10 ² kgf/cm ²)							相対動弾性係数(ED/28ED)							ES(×10 ² kgf/cm ²)	
		28日	1年	3年	5年	7年	12年	17年	1年	3年	5年	7年	12年	17年	7年	17年	
細粗とも人工	a 暴露	1466	1503	1516	1284	1263	1136	1108	103	103	88	87	78	76	1377	1342	
	b 暴露		1419	1374	1320	1304	1284	1275	97	97	90	89	88	87	1286	1295	
	c 暴露		1633	1639	1661	1652	1636	1646	112	112	114	113	112	110	1613	1564	
	d 暴露		1619	1645	1650	1644	1658	1651	111	111	113	112	113	112	112	1690	1531
人工砂利十川砂	a 暴露	1908	1868	1929	1920	1912	1744	1702	98	98	101	100	92	89	1699	1648	
	b 暴露		1707	1671	1662	1660	1629	1618	90	90	87	87	86	85	1415	1515	
	c 暴露		2091	2107	2124	2136	2114	2124	110	110	112	112	111	114	1885	1980	
	d 暴露		2043	2089	2104	2105	2125	2115	107	107	110	111	112	111	1895	1979	
川砂利十川砂	a 暴露	3252	2884	2935	2958	2901	2625	2549	89	90	91	89	80	78	2406	2218	
	b 暴露		2705	2760	2685	2795	2600	2606	83	85	83	83	80	80	2285	2231	
	c 暴露		3305	3406	3411	3450	3326	3345	102	105	105	106	102	103	2963	3029	
	d 暴露		3185	3160	3309	3327	3126	3210	98	97	102	102	96	99	2809	2927	

表13に示すとおり、a, bの直接暴露では長期的に動弾性係数は減少する傾向を示し、c, dの密封暴露ではコンクリートの種別に関係なく、動弾性係数はやや増加するかほとんど変化がなかった。また静弾性係数も同様の傾向を示している。

このように同一条件で作成されたコンクリートでも、コンクリートの耐久性は環境、暴露条件等によって異なることが分かる。

(2) 北極海向け石油掘削プラットフォーム (SUPER CIDS) の事例

SUPER CIDS は、昭和58年アメリカの Global Marine 社より日本鋼管(株)が受注し、現在北極海で稼働中の石油試掘用の移動式人工島である。

曳航のために浮体構造物として重量をできるだけ軽くするため、大部分に高強度の軽量コンクリートが用いられた。また、このコンクリートには、高強度であるとともに、 -50°C の極寒条件にさらされるため一般の海洋構造物に求められる耐久性に加えて、凍結融解に対するじゅうぶんな抵抗性が要求された。

図17に構造概略を示すが、軽量コンクリートが用い

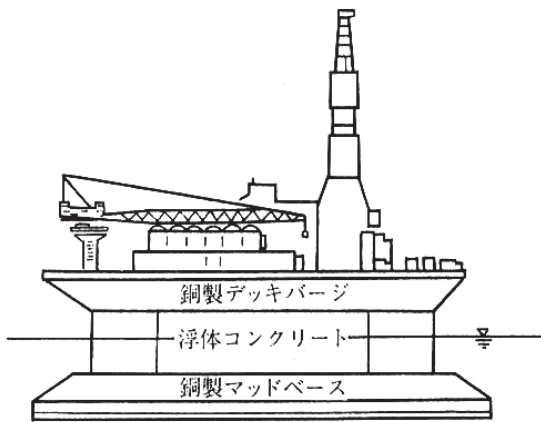


図17 SUPER CIDSの構造概略¹⁵⁾

表14 コンクリート仕様¹⁶⁾

項目	仕様
単位容積重量	軽量：1.84 普通：2.48t/m ³ 以下
設計基準強度(材令56日)	軽量：457 普通：562kgf/cm ²
コンクリート中の総塩分量	Clとしてセメント重量の0.06%以下
空気量(打設時)	7±2%
気泡間隔係数(硬化後)	250μm以下
気泡比表面積(硬化後)	24mm ² /mm ³ 以上
凍結融解耐久性指数	凍結融解300サイクルで80%以上 (ASTM C 666A法による)

られたのは図18における浮体コンクリート部の内壁、せん断壁を除く底版、外壁、頂版等である。

表14に浮体コンクリートの仕様を示すが、凍結融解の特性については、凍結融解300サイクルで耐久性指数(300サイクルもしくは300サイクル時に換算した相対動弾性係数)80%以上(ASTM C 666A法による)となっている。

軽量コンクリートにおける凍結融解抵抗性の第一要因は、軽量骨材の含水率であり、事前の試験によりW/C 30%程度、空気量3%以上であれば、練り混ぜ前の値を5%以下に抑えることにより仕様を満足することが確認され、これらのことから軽量コンクリートの使用骨材は、粗骨材に人工軽量骨材の絶乾品が、細骨材に川砂が使用された。人工軽量骨材は工場で絶乾状態で生産され、水密ルーフを有する専用船で運搬され、専用の屋内ストック場に貯蔵され、ほぼ絶乾に近い状態で練り混ぜに供された。

表15にコンクリートの配合を示す。また図19に使用配合の凍結サイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。

図19に示すように300サイクルで95%以上の好結果を示し、仕様の80%をじゅうぶんにクリアすることができた。

このように過酷な条件下においても、軽量コンクリートは骨材を絶乾に近い状態で使用することにより、予想以上の凍結融解に対する耐久性が得られることが実証された。

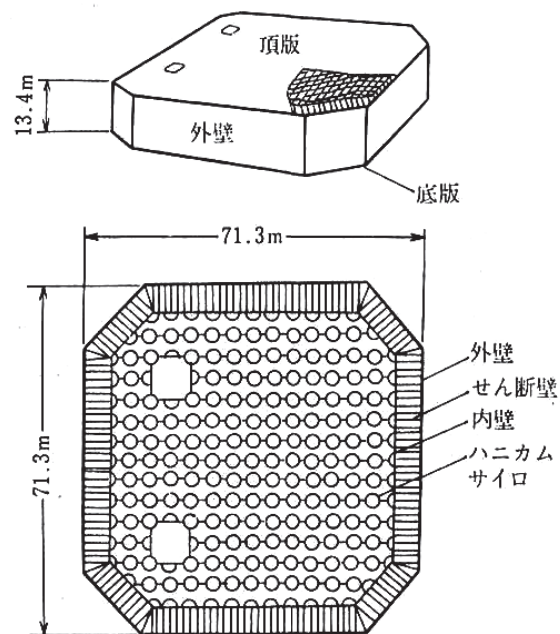


図18 浮体コンクリート部の構造¹⁵⁾

表 15 コンクリートの配合¹⁶⁾

配合名	打場 設所	骨材の 最大寸 法 (mm)	スラン プ (mm)	Air (%)	W/C	s/a	単 位 量 (kg/m ³)						混 和 剤		
							セメ ント	水	フ ラ イ シ リ カ ア ッ シュ フ ュー ム	細骨材	粗骨材	減水剤 (%)	AE剤 (%)	流動化剤 (%)	
LF	底版	15	210 ±20	7	0.289	0.370	557	161	56	—	538	456	1.5	0.07	0.6
LS	外壁	15	220 ±20	7	0.320	0.400	460	147	—	46	630	469	1.8	0.07	1.1
NF	内 壁・ せん 断壁	20	210 ±20	7	0.301	0.379	502	151	50	—	582	975	1.5	0.08	0.7
LF-N	頂版	15	210 ±20	7	0.289	0.370	520	150	52	—	566	478	1.5	0.07	0.6
LF-S	サイロ	15	190 ±25	7	0.296	0.370	557	165	56	—	542	452	1.2	0.07	—

注 NFコンクリートの粗骨材は半砕石, 他のコンクリートの粗骨材は造粒型の軽量骨材(メサライト)である

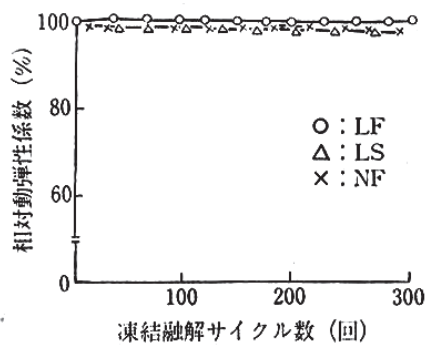


図 19 使用配合の凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係¹⁶⁾

(3) 軽量コンクリートの凍害対策

- ① 軽量コンクリートは, AEコンクリートにすることにより耐凍害性が著しく改善されることが明らかにされており, JIS A 5308「レデーミクストコンクリート」においては, 寒冷地における軽量コンクリートの標準空気量は 5.5% とするとされている。
- ② 単位水量をなるべく少なくする必要がある, そのため高性能減水剤等の使用が有効である¹⁷⁾。
- ③ 使用する人工軽量骨材の吸水率はなるべく小さいほうがよいが, ポンプ施工の関係上, 通常出荷品は高吸水が標準となっている。寒冷の程度によるが, 極寒にさらされる場合は特注による絶乾骨材, あるいは低吸水性の骨材使用が望ましい(北極海向け石油掘削プラットフォームの事例)。
- ④ 建築物においては, 外装に不透性でかつ耐久性に優れた仕上げ材料の使用が好ましい。
- ⑤ その他普通コンクリートと同様な凍害に対する配慮が必要である。

6. アルカリ骨材反応

(1) コンクリートのアルカリ骨材反応

アルカリ骨材反応は, セメント中に存在するアルカリ元素とある種の骨材とが水の共存下で長時間に徐々に新たな物質を生成する反応をいい, 反応生成物は吸湿して膨張し, この膨張圧力によってコンクリートにひびわれが発生し, さらに進行するとコンクリートを崩壊させることになる。

アルカリ骨材反応は, コンクリート中に存在するアルカリと骨材中の鉱物の種類により反応機構が異なることから, 現在のところ, ①アルカリシリカ反応, ②アルカリ炭酸塩反応, ③アルカリシリケート反応, の3種類に大別されているが, 我が国におけるアルカリ骨材反応といわれているのは, このうちアルカリシリカ反応が大部分であるとされている¹⁸⁾¹⁹⁾。

アルカリ骨材反応の試験方法については, ASTMの試験法等種々あるが, 我が国では公的に決められたものがない。現在, 建設省総合技術開発プロジェクトにおいて検討がなされている段階である。

(2) 人工軽量骨材のアルカリ骨材反応試験

今回人工軽量骨材協会では, ASTM C-227「セメント骨材の潜在性アルカリ反応試験(モルタルパー方法)」および「早期判定試験方法案(GBRC促進法)」の2種類の試験を実施した。その結果は以下のとおりである。

① モルタルパー方法

試験に使用した試料, アルカリ量(R₂O)の組合せ, モルタル配合および試験結果は表16~18に示すとおり

表 16 アルカリ量 (R₂O) の組合せ

銘 柄	試 料	全アルカリ量(R ₂ O)			全アルカリ量 (R ₂ O)* 1.00%+NaCl 0.1%
		1.00%	1.20%	1.50%	
メサライト	細骨材	○	—	—	—
	粗骨材	○	—	—	○
ビルトン	細骨材	○	—	—	—
	粗骨材	○	—	—	—
アサノライト	細骨材	○	—	—	—
	粗骨材	○	○	○	—

注(1) ○印は試験実施

(2) * 全アルカリ量 (R₂O)=1.0%のものにメサライト (粗骨材破砕品) 絶乾重量の0.1%に相当する NaCl を添加したもの

表 17 試験用骨材の調合比

試 料	調 合 比 (骨材/セメント)	1バッチ当たりの軽量値(g)	
		セメント	骨 材
細骨材	1.45	300	435
粗骨材	1.10	300	330

表 18 構造用人工軽量骨材の潜在性アルカリ反応試験結果 (モルタルバー方法)

モルタルの配合	セメント	普通ポルトランドセメント (R ₂ O=0.72%)								
	試料名	メサライト		ビルトン		アサノライト				
		細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	粗骨材	材	
	全アルカリ量(%)	R ₂ O=1.00						1.20	1.50	
	NaCl 添加量	0.1(%)*								
	W/C (%)	57.3	66.0	66.0	56.7	65.7	55.0	66.7	66.7	66.7
膨張材率 (%)	材令 14日	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
	材令 1カ月	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
	材令 2カ月	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
	材令 3カ月	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
	材令 4カ月	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
	材令 6カ月	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04

注 * 全アルカリ量 (R₂O) に加えて、人工軽量骨材の絶乾重量の0.1%NaCl を添加

表 19 モルタルの配合 (1バッチ当たり) —人工軽量骨材(単味)

種 類	NaOH 水 溶 液 (g)	普 通 ポルトランド セメント (g)	人工軽量 細骨材* (g)
ビルトン	300	600	752
メサライト	300	600	757
アサノライト	300	600	794

* 0.15~0.6mm, 0.6~2.5mm, 2.5~5.0mm=2:5:3 (質量比)

表 20 モルタルの配合（1 バッチ当たり）——人工軽量骨材+標準砂

種 類	NaOH 水 溶 液 (g)	普 ポ ル ト ラ ン ド セ メ ン ト (g)	通 下 細 骨 材	
			豊 浦 標 準 砂 (g)	人 工 軽 量 細 骨 材 (g)
ビ ル ト ン	300	600	600	376
メ サ ラ イ ト	300	600	600	378
ア サ ノ ラ イ ト	300	600	600	397

* 0.15~0.6mm, 0.6~2.5mm, 2.5~5.0mm=2:5:3 (質量比)

表 21 試験結果——ひびわれの有無

種 類	ひびわれの有無
ビルトン (単味)	無
ビルトン+標準砂	無
メサライト (単味)	無
メサライト+標準砂	無
アサノライト (単味)	無
アサノライト+標準砂	無

表 22 モルタル膨張率と質量変化 (参考)

種 類	脱型直後を基準に した煮沸後のモル タル膨張率 (%)	質 量 (g)	
		脱型直後	圧力釜煮沸後
ビルトン (単味)	0.0220	453.2	459.3(1.0135)
ビルトン+標準砂	0.0189	507.4	512.3(1.0097)
メサライト (単味)	0.0048	460.2	472.0(1.0256)
メサライト+標準砂	0.0092	510.4	518.0(1.0149)
アサノライト (単味)	0.0160	467.6	471.9(1.0092)
アサノライト+標準砂	0.0190	516.0	519.6(1.0070)

である。

〔試験結果〕

モルタルパー方法による骨材の潜在アルカリ骨材反応の判定基準は、材令6カ月において膨張率0.10%以上で有害、6カ月試験ができない場合には、3カ月において0.05%以上で有害なアルカリ反応の潜在可能性ありとされているが、表18に示すとおり、人工軽量骨材は材令6カ月で膨張率0.03~0.04%、材令3カ月で膨張率0.02~0.04%となり、本試験の範囲内ではいずれの場合も規準値を下まわっている。

② GBRC 促進法

使用セメントは普通ポルトランドセメント（アルカリ含有量 R₂O 0.71%）とし、配合および試験結果は表19~22に示すとおりである。

〔試験結果〕

GBRC 促進法による試験では、ひびわれの認められないものは「反応性なし」と判定されるが、表21に示すとおり人工軽量骨材はいずれの試験もひびわれは認められず、アルカリ骨材反応性なしと判定された。

7. ま と め

構造物の耐久性については、中性化、塩分、ひびわれ、耐凍害性、アルカリ骨材反応等は非常に重要な課題であり、構造物が計画される段階でこれらの問題点となるところを十分に検討を加え、材料、施工性、養生等も吟味する必要があることを提起しておきたい。

人工軽量骨材コンクリートは、品質的にも安定した材料であるので、安心して使用できる製品と確信して

いる次第である。

最後に貴重な資料を引用させていただいた諸賢に厚

くお札を申し上げます。また人工軽量骨材に関して忌

憚のない、ご意見、ご叱責をお願いいたします。

参考文献

- 1) 友沢史紀 他「高強度軽量コンクリートの物性報告」建築研究所, 1986年2月
- 2) 山下時夫 他「人工軽量骨材を用いたコンクリートの性状試験結果」日本メサライト工業(株), 1984年12月
- 3) 三井金属鉱業(株)「メサライトコンクリートマニュアル 建築編」1985年7月
- 4) 上村克郎「人工軽量骨材コンクリートの中性化」セメント・コンクリート, No. 273
- 5) 富田六郎 他「人工軽量骨材コンクリートの中性化」セメント・コンクリート, No. 458
- 6) 横山昌寛「メサライト及びメサライトコンクリートに関する研究」三井金属鉱業(株), 1986年2月
- 7) 嵩英雄「RC建築物のコンクリートの中性化と鉄筋の腐食」セメント・コンクリート, No. 454
- 8) 櫻野紀元 他「海砂使用上の技術基準に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), 1980年9月
- 9) 土木学会「人工軽量骨材コンクリート設計施工マニュアル」コンクリートライブラリー, 56号
- 10) 岡田清「軽量コンクリートの土木構造物とくに道路橋への利用について」ALA, 4号
- 11) 関 博「コンクリートのひびとその対策(土木構造物とひびわれ)」セメント・コンクリート, No. 451
- 12) 橋本定夫「トンネル二次覆工コンクリートへの人工軽量骨材の適用」コンクリート工学, Vol. 20, 1982年
- 13) 西岡, 大江「人工軽量骨材を用いたコンクリートの凍結融解耐久性に関する研究」セメント・コンクリート, No. 285
- 14) 横山昌寛 他「人工軽量骨材コンクリートの急速凍結融解作用抵抗性に関する実験研究 その1, その2」日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和59年10月
- 15) 大野, 鈴木, 丹羽, 井畔「極寒地向け海洋構造物のための軽量コンクリートの研究」セメント・コンクリート, No. 450
- 16) 黒木, 中島, 奥津「北極向け移動式人工島に用いたコンクリート」月刊生コンクリート, Vol. 14, No. 11
- 17) 中黒英二 他「高性能減水剤を用いたコンクリートの耐久性について」日曹マスタービルダーズ研究所報, No. 4, 1981年
- 18) 内川浩「アルカリ反応性骨材の判定試験方法の現状」コンクリート工学, Vol. 22, No. 10
- 19) 川村満紀 他「アルカリ, 骨材反応によるひびわれ」セメント・コンクリート, No. 451

最近の軽量コンクリート施工例

(昭60.11. 1)

工 事 件 名	階 数	設 計 事 務 所	建 設 業 者	設計強度 kg/cm ²	コンクリート比重 t/m ³	スランブ cm	備 考
赤坂六本木市街地再開発 事務所棟	S・SRC 37F	入江三宅設計事務所	鹿島建設, 戸田建設, フジタ工業JV	210	1.65	18, 21	
〃 住宅棟A	SRC 25F	〃	竹中工務店	210	1.85	18→21	流動化
〃 ホテル棟	S・SRC 36F	観光企画, 構造計画研究所	大成建設	210	1.85	21	
大崎駅東口市街地再開発 事務所棟	SRC 21F	協立建築設計	鹿島建設, 大成建設他JV	240	1.85	15→21 18→21	流動化
〃 〃	SRC 20F	〃	〃	210	1.85	18→21	流動化
横浜新都市センタービル	SRC 10F	三菱地所 石本建築	鹿島建設, 東急建設他JV	210	1.85	18	
池袋ターミナルホテル	S・SRC 25F	観光企画 鉄道会館	大林組, 清水建設, 熊谷組JV	210	1.85	21	
光が丘ニュータウン(住都公)	SRC 14F	住宅都市整備公団	富士工, 田中土建JV	210	1.85	18	
〃 〃	〃	〃	西松建設	210	1.85	18	
〃 (都 住)	SRC 14F	東京都住宅局	間組, 古久根建設JV	210	1.85	18	
〃 〃	〃	〃	日産建設, 杉山建設JV	210	1.85	18	
川崎駅前市街地再開発(住都公)	SRC 14F	住宅都市整備公団	銭高組, 大日本土木他JV	210	1.85	18	
〃 〃	〃	〃	大成建設他JV	210	1.85	18→21	流動化
赤羽駅西口市街地再開発(住都公)	SRC 14F	〃	大林組, 戸田建設他JV	210	1.85	18	
赤羽北2丁目 第2団地(住都公)	SRC 14F	〃	大日本土木, 伊藤組JV	210	1.85	18	
若葉台団地(神奈川県住供)	SRC 14F	神奈川県住宅供給公社	相鉄建設	210	1.75	18→21	流動化
築地興和ビル	SRC 23F	日本設計	大林組	240 255 270	1.75	18→21 15→21 15→21	流動化
東京ビューホテル	S 27F	観光企画	清水建設, フジタ工業JV	210	1.90	15→21	流動化
雇用促進住宅 成田宿舎	SRC 14F	岡田新一設計	間組, 五洋建設, 大木建設JV	210	1.85	15→21	流動化
南葛西5丁目住宅(東京都住供)	SRC 14F	藤沢設計	西松建設, 日東建設JV	240	1.65	18	
東京品川電々ビル事務所舎	S・SRC 14F	日本総合建築	大成建設, 竹中工務店, 鹿島建設	210	1.85	15→21	流動化
〃 データ通信局舎	SRC 12F	〃	清水建設, 大林組他JV	210	1.85	15→21	流動化
新宿2丁目ビル	SRC 13F	日建設計	五洋建設	210	1.75	18	
住商和泉町ビル	S 14F	〃	鹿島建設, 大林組, 竹中工務店JV	180	1.65	18	
町田グリーンタウン	SRC 15F	竹中工務店	竹中工務店	240	1.85	15→21	流動化
西新宿浄風地ビル	S 29F	日建設計	佐藤工業, 清水建設JV	180	1.65	21	
関東信越国税庁舎	S 16F	関東地方建設局	竹中工務店	240	1.85	18	
新宿ワシントンホテル	S 18F	坂倉建築研究所	熊谷組	180	1.85	21	
明治生命函館支社	SRC 12F	清水建設	清水建設	210~240	1.85	18	
札幌医科大学病院	SRC 13F	日建設計	大成建設, 鹿島建設JV	195~240	1.85	18→21	流動化
日土地名古屋ビル	S 17F	〃	清水建設, 戸田建設他JV	180	1.85	21	
泥江町再開発ビル	SRC 26F	〃	清水建設, 大成建設JV	210	1.85	21	
静岡市庁舎	SRC 18F	佐藤武夫設計事務所	鹿島建設, 住友建設他JV	210	1.75	18→23	流動化
森ノ宮スカイハイイツ	SRC 14F	長谷川工務店	長谷川工務店	225	1.85	19	
ツイン21 A工区	S 38F	日建設計	鹿島建設, 竹中工務店, 熊谷組JV	195, 210, 225	1.85	18, 19, 21	
三国北住宅第二期工区	SRC 14F	小西設計	西松建設	225	1.85	21	
大阪城公園マンション	SRC 14F	長谷川工務店	長谷川工務店	240	1.85	19	
大阪駅ビル	SRC 28F	安井建築設計	大阪駅ビルJV	210	1.65	23	
南港コープ分譲住宅 3期	SRC 15F	東畑建築事務所	大林組, 清水建設, 東急建設JV	210	1.85	18→21	流動化
阿倍野市街地住宅 C-1	SRC 14F	昭和設計	東急建設	225	1.85	18	
丸紅大阪本社ビル	SRC 17F	三菱地所	丸紅本社ビルJV	210	1.65, 1.85	18→21 18→23	流動化
神戸パークシティ	SRC 24F	三井建設	三井建設	210	1.75	21	
ポートピアプラザ	SRC 25F	三菱地所	大林組	210, 225	1.85	18→21	流動化
徳島市庁舎	SRC 14F	山下設計	戸田建設, 大林組他JV	210	1.85	18	
住友生命平和大通りビル	SRC 22F	観光企画	鹿島建設	240	1.85	18, 21, 22	
広島第三合同庁舎	SRC 18F	中国地方建設局	大成建設, 熊谷組, 鴻池組JV	225~240	1.75	18	
広島市新本庁舎	SRC 16F	安井建築設計	大林組, 奥村組, フジタ工業他JV	240~270	1.85	15→21	流動化
東北新幹線, 埼京線, 新河岸川橋梁	—	国鉄	前田建設工業	350	1.85	8→15 12→18	流動化
埼京線北赤羽駅プラットフォーム	—	〃	〃	240	1.85	12→18	流動化

宇部興産(株)

本社／東京都品川区東品川2-3-11 UBEビル ☎03-5460-3302

工場／山口県宇部市大字小串1978-2

大阪セメント(株)

本社／大阪市大正区南恩加島7-1-55 ☎06-556-2244

工場／大阪市大正区南恩加島7-1-49

日本セメント(株)

本社／東京都千代田区大手町1-6-1 大手町ビル6階 ☎03-3214-1596

工場／大阪市西成区南津守2-3-18

日本メサライト工業(株)

本社／千葉県船橋市西浦3-9-2 ☎0474-31-8138

工場／同上

三菱マテリアル(株)

本社／東京都千代田区大手町1-6-1 大手町ビル3階 ☎03-5252-5482

工場／セイライト工業(株) 神奈川県横須賀市佐原1261

人工軽量骨材コンクリート技術資料 No.3

発行 1993年3月20日

発行人 人工軽量骨材協会 (発行責任者 高木 克也)
(ALA; Artificial Light-Weight Aggregate Association)

〒110 東京都台東区上野1-12-2 亀田ビル

☎03-3837-0445