

ALA

CONCRETE

技術情報・建築編

軽量コンクリートについて	1~2
軽量コンクリートの自己養生および自己収縮低減効果	3~4
軽量コンクリートの耐久性	5~6
軽量コンクリートの経済性	7~8
軽量コンクリートの単位水量	9~10
軽量コンクリートの単位容積質量	11~12
軽量コンクリートのポンプ圧送性能	13~15
軽量コンクリートの遮音性能	16
軽量コンクリートの施工上の留意点	17
人工軽量骨材コンクリート技術資料リスト	18
資料	

軽量コンクリートについて

1. 軽量コンクリートの特長

軽量化により長期・短期荷重(特に地震力)の低減が可能となり、次のメリットが期待できる。

(1)構造部材(柱、梁)の小サイズ化：特にS造の場合に効果大

- ・S造の場合、鉄骨部材重量を低減：建設コスト削減
- ・柱の省サイズ化：平面有効面積拡大
- ・梁の省サイズ化：天井高向上



(2)基礎工事費の削減：杭本数減・杭径のサイズダウンまたは直接基礎の小断面化

1)杭打設時の排出土低減にも効果有り

2. 種類と許容応力度および単位体積重量

(1)種類

軽量コンクリートの種類	用いる骨材	
	粗骨材	細骨材
1種	人工軽量骨材	砂・砕砂・各種スラグ細骨材
2種		人工軽量骨材または、これに砂・砕砂・各種スラグ細骨材を混入したもの

(2)設計基準強度と単位体積重量

項目	普通コンクリート	軽量コンクリート1種		軽量コンクリート2種	備考
設計基準強度の上限値(N/mm ²)	$F_c \leq 36$	$F_c \leq 27$	$27 < F_c \leq 36$	$F_c \leq 27$	RC構造計算規準 (2010年版)
鉄筋コンクリートの単位体積重量(kN/m ³)	24	20	22	18	
気乾単位容積質量の範囲(t/m ³) (普通コンクリートとの比率：%)	2.2~2.4 (100)	1.8~2.1 (▲22~▲12)		1.4~1.8 (▲36~▲29)	JASS 5 (2009年版)

[注]1)RC構造計算規準では、鉄筋コンクリートの単位体積重量は実状によるものとしており、特に調査しない場合には表の値としてよいとしている。

(3)許容応力度

長 期				短 期			
圧縮	引張り	せん断	付着	圧縮	引張り	せん断	付着
$\frac{1}{3} \cdot F_c$	—	普通コンクリートに対する値の0.9倍	普通コンクリートに対する値の1.0倍	長期に対する値の2倍	—	長期に対する値の1.5倍	長期に対する値の1.5倍

[注]1)RC構造計算規準より

2)普通コンクリートの長期許容せん断応力度は下式の通り

$$\frac{1}{30} \cdot F_c \text{ かつ } (0.49 + \frac{1}{100} \cdot F_c) \text{ 以下}$$

3) F_c はコンクリートの設計基準強度(N/mm²)

4)普通コンクリートの長期許容付着応力度は下式の通り

$$\text{上端筋：} \frac{1}{15} \cdot F_c \text{ かつ } (0.9 + \frac{2}{75} \cdot F_c) \text{ 以下、その他の鉄筋：} \frac{1}{10} \cdot F_c \text{ かつ } (1.35 + \frac{1}{25} \cdot F_c) \text{ 以下}$$

5)大地震動に対する安全性の確保のための検討時

付着割裂の基準となる強度 f_b (普通コンクリート)

$$\text{上端筋：} 0.8 \times (\frac{F_c}{40} + 0.9), \text{ その他の鉄筋：} \frac{F_c}{40} + 0.9$$

軽量コンクリートは普通コンクリートに対する値の0.8倍

3. 設計上の注意点

(1) 呼び強度と設計基準強度について

コンクリートの種類		粗骨材の最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	JIS A 5308 (呼び強度)	JASS 5 (設計基準強度)
軽量コンクリート	1種	15	8, 10, 12, 15, 18, 21	40	36
	2種				27
普通コンクリート		20, 25	8, 10, 12, 15, 18, 21	45	36

[注]1) 呼び強度、設計基準強度の単位 (N/mm²)

例) 軽量コンクリート1種を使用 (設計基準強度を最大値36N/mm²に設定)

- ・ 構造体強度補正值 3N/mm² ⇒ 呼び強度39N/mm² < JIS A 5308の最大値40N/mm² … OK
- ・ 構造体強度補正值 6N/mm² ⇒ 呼び強度42N/mm² > JIS A 5308の最大値40N/mm² … JIS規格外

構造体強度補正值とJISに定める呼び強度を考慮の上、設計基準強度を設定するよう注意を要する

(2) ヤング係数について

普通コンクリートと比較すると、軽量コンクリート1種は約68%、軽量コンクリート2種で約55%に低減する事から、死荷重・積載荷重によるたわみ量が多くなる。

例) RC造梁 (300×600mm, スパン5m) の等分布荷重によるたわみ量の比較
普通コンクリート1.0とすると、軽量コンクリート1種1.2

コンクリートの種類		ヤング係数 (N/mm ²)	気乾単位体積重量 (kN/m ³)	設計基準強度 (N/mm ²)
普通コンクリート		22669	23	24
軽量コンクリート	1種	15470 (68%)	19	24
	2種	12384 (55%)	17	24

ヤング係数の算出式

$$E = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24} \right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

E : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

γ : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m³)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

軽量コンクリートの自己養生および自己収縮低減効果

わが国の人工軽量骨材は、ポンプ圧送によって施工されることを前提としているため、製造時に吸水させて出荷されている。近年では、国内外を問わず、軽量骨材内部の水がセメント水和に与える影響(自己養生効果)や、高強度コンクリートで問題となる自己収縮を抑制する効果について研究報告されている¹⁾。また、実際に骨材中の水分がセメントペーストに移動する現象も確認されている²⁾。

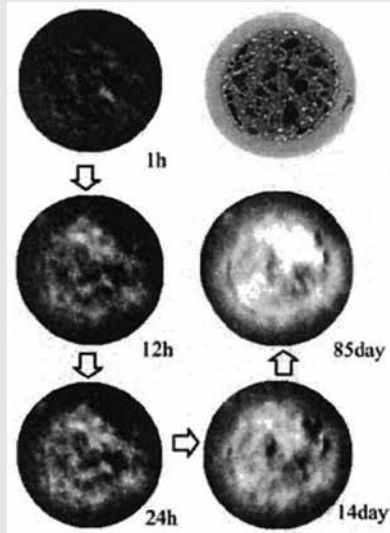


写真-1 飽水骨材内部の含水状態
(グレーが濃い方が水分を多く含む)

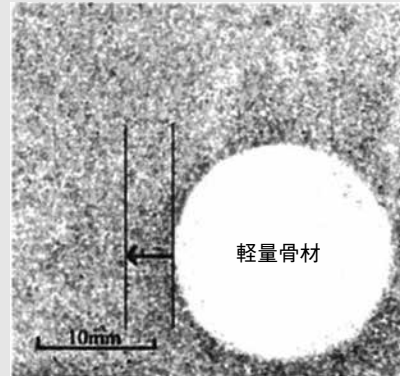


写真-2 飽水骨材周囲のペーストの水分変化

(飽水軽量骨材の材齢85日と材齢1時間の差分画像。グレーが濃いほど水分供給が多いことを表示。骨材界面から1.2mm~4mmの範囲で水分量が増大。)

1. 自己養生効果

図-1は、普通コンクリートと軽量コンクリートの養生の違いが、圧縮強度に与える影響を表したものである。普通コンクリートは水中養生に比べ、気中養生では15~20%強度が低下するが、吸水した軽量骨材を用いた場合には、養生の違いによる圧縮強度への影響がほとんど見られない³⁾。

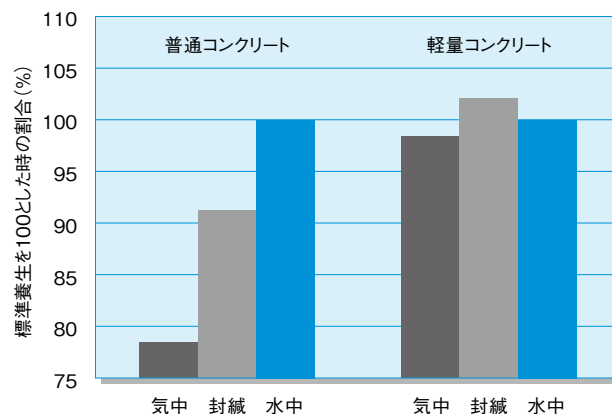


図-1 養生方法の違いによる強度発現性状
(夏期、材齢4週、W/C48%)

2. 自己収縮低減効果

図-2にW/C20%で細骨材を軽量骨材に置き換えた場合の自己収縮状況を示す。軽量骨材を5割程度置き換えることで、自己収縮がほとんど起こらないことが確認できる。また、全量を置き換えた場合、膨張する結果が得られた。強度低下は基準に比べ約1割程度であった⁴⁾。

吸水させた軽量骨材は、内部から水を放出することにより、コンクリート内部の相対湿度低下を抑制し、水和初期の相対湿度の低下とそれに伴う毛管圧力の上昇を抑制すると考えられる。

コンクリート調合

W/C (%)	軽量砂置換率 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					圧縮強度 (N/mm ²)	
			W	C	S普通	S軽量	G普通	7日	28日
20	0	38.4	160	800	549	0	901	94.0	110
	50				275	204		87.5	98.7
	100				0	407		84.8	97.8
35	0	45.0	160	457	784	0	987	67.2	82.3
	50				392	287		61.1	74.0
	100				0	575		50.8	66.7

※シリカフェーム入り高炉セメント使用

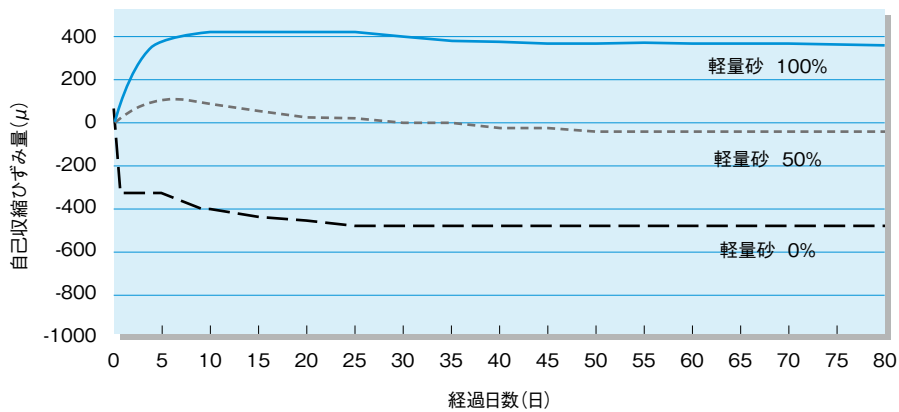


図-2 自己収縮(W/C 20%)

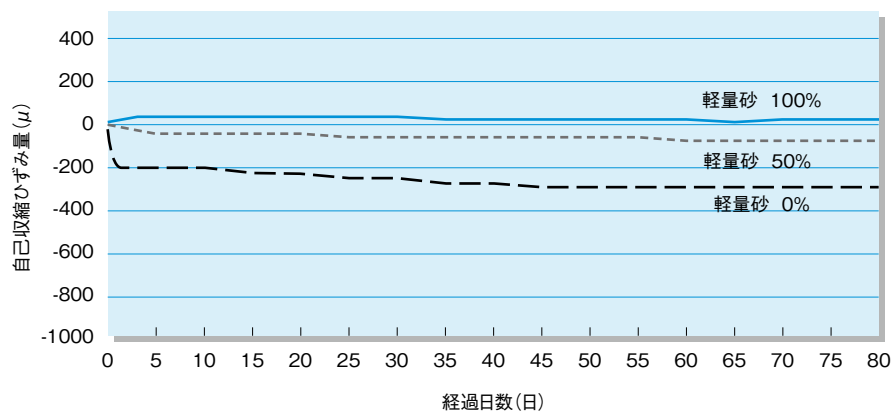


図-3 自己収縮(W/C 35%)

<参考文献>

- 1) 小山明男「軽量骨材の水分特性に着目したコンクリートの特性に関する最近の研究」文献調査委員会、コンクリート工学Vol. 40、No.6、2002.6
- 2) 丸山ほか「中性子ラジオグラフィによる軽量骨材-セメントペースト間の水分挙動の可視化」日本建築学会大会学術講演梗概集、2009.8
- 3) 平成13年度ALA協会委託実験(筑波大金久保研究室)
- 4) ALAニュースNo.6

軽量コンクリートの耐久性

1. 乾燥収縮

図-1に乾燥収縮試験結果(試験方法:JISA 1129)を示す。同一スラブ(18cm)のコンクリートでは、軽量コンクリートの乾燥収縮量が小さいことがわかる。特に、初期材齢における長さ変化率が小さく、緩やかなスピードで収縮が進行していることが特徴的である。

これは、軽量骨材中の水分が乾燥の進行に伴い、セメントペーストに供給され水和反応が緩やかに促進したことによるものと考えられる。

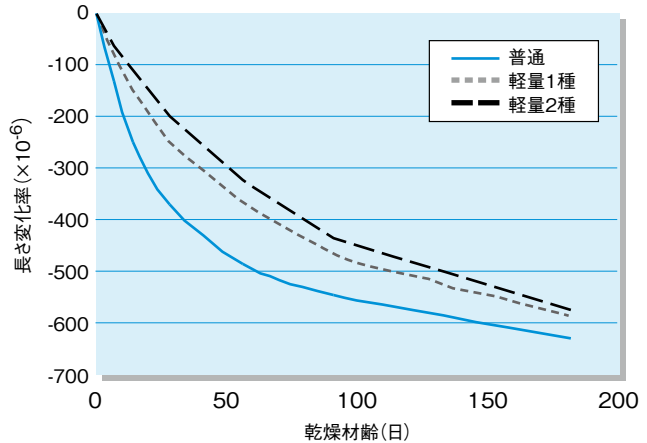


図-1 乾燥収縮試験結果

コンクリート調査

種類	W/C (%)	s/a (%)	スラブ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						
					W	C	S		G		AD
							普通	軽量	普通	軽量	
普通	50	44	17.5	4.6	175	350	764	—	994	—	3.5
軽量1種		48	18.5	5.2	175	350	829	—	—	569	3.5
軽量2種		48	18.0	4.9	175	350	—	606	—	569	3.5

2. 中性化

図-2に促進中性化試験結果を示す。図に示すように、同一水セメント比では、軽量コンクリートは普通コンクリートに比べて中性化の進行が遅いことがわかる。特に、軽量1種コンクリートにおいてその差は顕著に現れている。これは、1と同様に、軽量骨材中の水分が乾燥の進行に伴い、セメントペーストに供給され水和反応が緩やかに促進し、コンクリート組織が緻密化したことが要因であると考えられる。

【出典】「高強度人工軽量骨材コンクリートを用いた建築物の設計と施工」(日本建築学会)

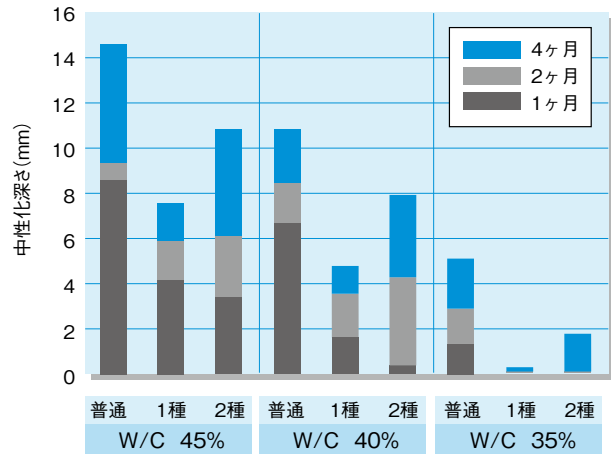


図-2 促進中性化試験結果

3. アルカリ骨材反応

図-3にコンクリートバー法の試験結果を示す。コンクリートバー法には、①コンクリート内部にアルカリ(NaOH、NaCl等)を添加し、アルカリ骨材反応を促進させる方法(JCI法、カナダ法等)、②外部よりアルカリを供給させ、アルカリ骨材反応を促進させる方法(ASTM法、デンマーク法等)がある。図に示した試験法は、外部よりアルカリ(NaCl)が常に供給される非常に厳しい養生条件下の試験であるデンマーク法により評価した結果である。この試験は、供試体を脱型後50℃、飽和NaCl溶液中に浸漬させる方法で、比較として示した反応性粗骨材(富山県産川砂利、アルカリ骨材反応性の結果「無害でない」と判定)の膨張量が著しい結果であるのに対し、軽量コンクリートではほとんど膨張を示しておらず、「無害」の判定領域にあることがわかる。このことより、人工軽量骨材のアルカリ骨材反応性は問題ないものであると判断される。

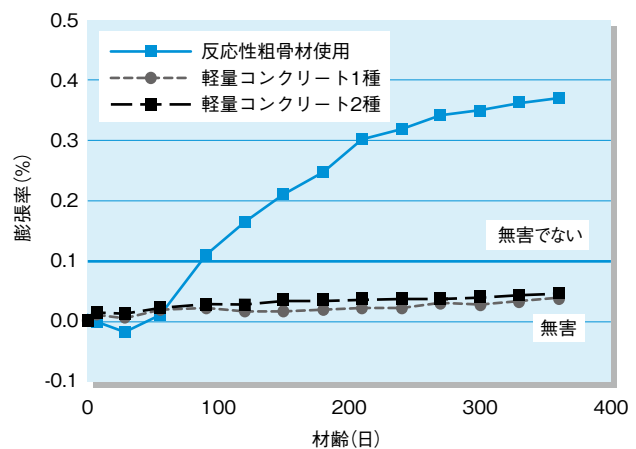


図-3 コンクリートバー法試験結果

【出典】 杉山彰徳、鳥居和之、酒井賢太、石川雄康：人工軽量骨材のアルカリシリカ反応性とASR判定試験法の提案、土木学会論文集E, Vol.63, No.1, pp.79-91, 2007

4. 凍結融解抵抗性

図-4に軽量コンクリート1種(通常吸水粗骨材使用)の凍結融解試験結果を示す。この試験では、凍結融解試験開始前の前養生を、水中(水温20℃)で14日間養生後、14日間気中乾燥(室温20℃、湿度60%)後、北海道北見市にて曝露を実施した。この条件の設定理由は、軽量コンクリートの場合是一般のコンクリートよりも急速凍結融解試験と自然環境下における耐凍害性の差が大きくなる傾向にあり、ASTM STP 169C「Light-weight Concrete and Aggregates」で凍結融解試験前に14日間の気中乾燥期間を取ることが推奨されているためである。

図に示すように、材齢10年(凍結融解577サイクル)経過後においても、相対動弾性係数は低下しておらず、十分な耐凍害性を有していることが確認された。

なお、耐凍害性の確保には、①AEコンクリートとする(空気量は普通コンクリート+1%が望ましい)、②供用開始までに十分な乾燥期間を取る、③施工に支障がなければ、低含水品を使用することが重要である。

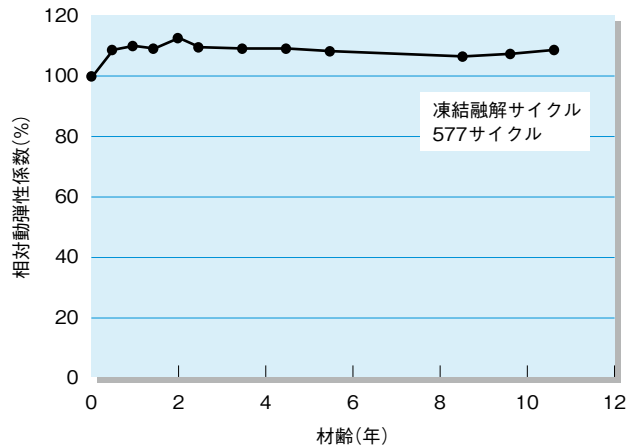


図-4 凍結融解試験結果

コンクリート調合

種類	W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)			
					W	C	S普通	G軽量
軽量1種	45	48	15.0	5.2	160	356	832	441

5. 耐摩耗性

図-5に耐摩耗性試験結果を示す。摩耗試験用供試体は床スラブを想定し、300×300×厚さ50mmの正方形の板とし、試験はASTM C 779「水平なコンクリート表面の耐摩耗試験方法」のA法(回転円盤機)に準拠した。この図より、軽量コンクリートの耐摩耗性は普通コンクリートよりも優れることがわかった。これは、1および2と同様に、軽量骨材中の水分が乾燥の進行に伴い、セメントペーストに供給され水和反応が緩やかに促進し、コンクリートの表面部分が緻密化したことが要因であると考えられる。なお、供試体は実際の打設を想定して、打ち込み後4週間気中養生を実施した。

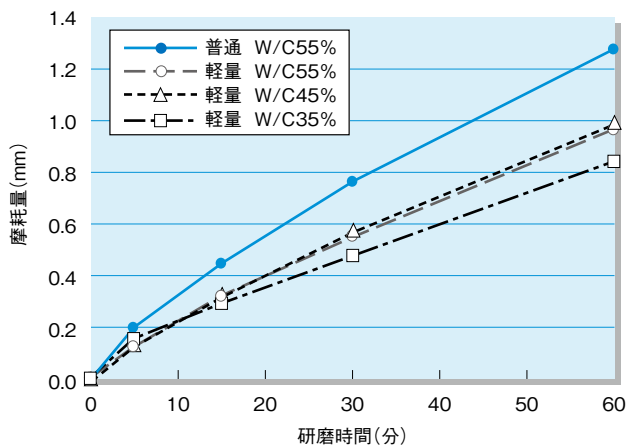


図-5 耐摩耗性試験結果

コンクリート調合

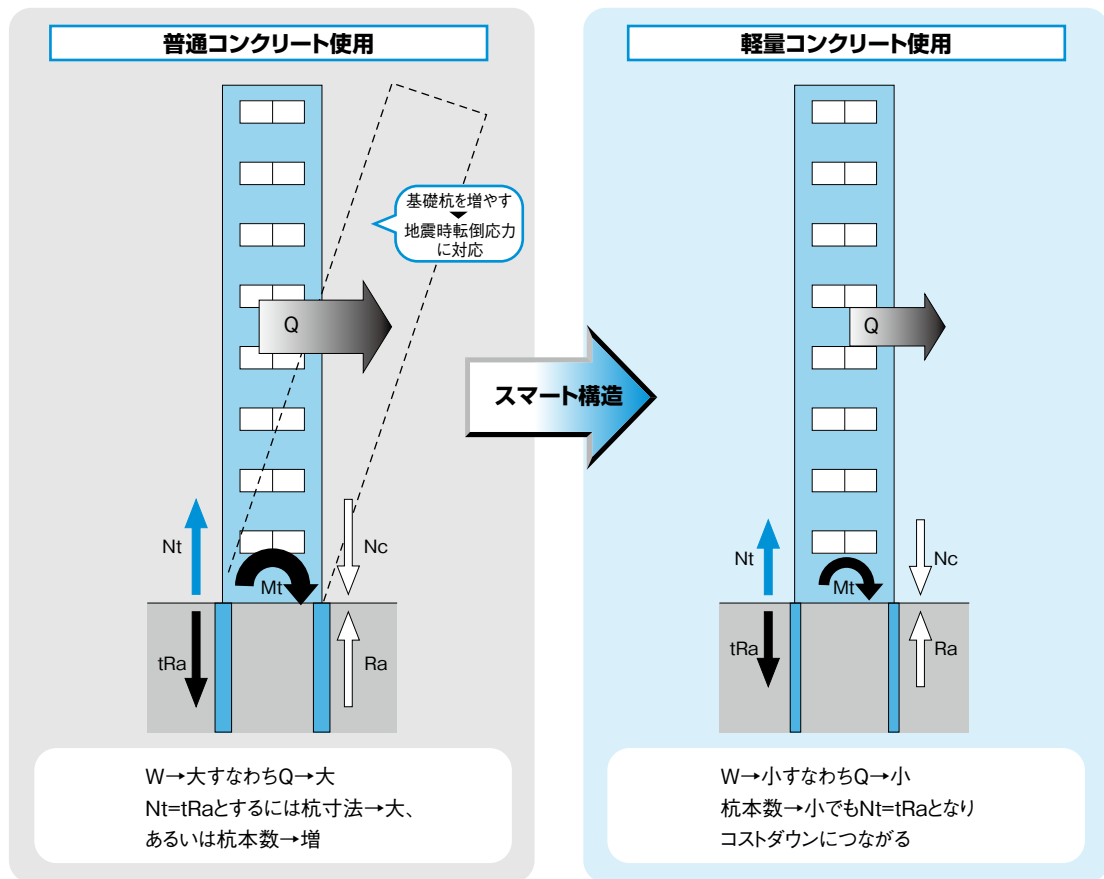
種類	W/C (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S普通	G普通	G軽量
普通55%	55	47.7	18.0	4.8	172	313	839	941	—
軽量55%	55	46.5	18.0	5.1	182	331	798	—	593
軽量45%	45	45.0	17.5	4.9	182	404	736	—	593
軽量35%	35	43.3	17.0	4.9	170	486	702	—	593

軽量コンクリートの経済性

1. 軽量化によるコストダウンの概念

都市部の狭小敷地に背の高い建物を建設する場合、短辺方向と長辺方向の長さの比率が大きい場合等に軽量コンクリートを使用すると、普通コンクリートを使用した場合に比べて基礎工事のミニマム化が図れる。

また、建物自重が小さくなる事から構造躯体(柱・梁)も小断面化できる。



$Q = kW$: 地震力	Mt : 転倒モーメント
k : 係数	Nt : 引抜き力
W : 建物重量	tRa : 杭基礎の引抜き抵抗力

2. S造12階建事務所ビル(東京都)の試算例

床スラブ(構造デッキ+コンクリート)に普通コンクリート、軽量コンクリート1種を使用した場合のコスト試算
構造躯体の直接工事費を約38,000千円コストダウン出来る試算結果

構造・規模

- ・S造ラーメン構造 ・地上12階・地下なし ・建築面積 1,496m² ・延床面積 17,952m²
- ・用途：事務所

試算条件

- ①2011年6月の東京都区における各資材単価および施工単価にてコスト算出
- ②普通コンクリート(21-18-20N)@12,650円/m³、軽量コンクリート1種(21-18-15N)@19,100円/m³
- ③鉄筋材料単価 D13(SD295A)@66,000円/t、D19~D25(SD345)@67,000円/t
- ④鉄骨材料単価 型钢H-300×150 @83,000円/t
- ⑤2階以上の床スラブに軽量コンクリート1種($\gamma=18.5\text{kN/m}^3$)を使用(基礎・1階床は普通コンクリート)

部位	工種	仕様	普通コンクリート		軽量コンクリート($\gamma=18.5$)		差異	
			数量	工事費(千円)	数量	工事費(千円)	数量	工事費(千円)
基礎	杭工事	先堀拡底根固工法	680 ϕ ・m	74,846	580 ϕ ・m	65,830	▲100 ϕ ・m	▲9,016
		L=25m						
	土工事	ステコン:F _c =18N/mm ²	1式	15,492	1式	15,193		▲299
	基礎コン	F _c =24N/mm ²	1,326m ³	18,539	1,262m ³	17,673	▲64m ³	▲867
		スランブ=18cm						
	型枠工事	普通型枠	3,144m ²	16,009	3,144m ²	15,914	0m ²	▲95
	鉄筋工事	SD295A、SD345	70.4t	7,747	66.8t	7,347	▲3.6t	▲399
	基礎小計		132,633		121,957		▲10,675	
鉄骨	—	材工とも	1,961t	542,598	1,794t	495,497	▲167t	▲47,101
スラブ	—	デッキPL+コンクリート	17,771m ²	119,111	17,771m ²	138,545	0m ²	19,434
	合計		100%	794,341	95.2%	756,000	▲4.8%	▲38,342

3. S造4階建大型店舗(東京都)の試算例

床スラブ(構造デッキ+コンクリート)に普通コンクリート、軽量コンクリート1種を使用した場合のコスト試算
 構造躯体の直接工事費を約46,000千円コストダウン出来る試算結果

構造・規模

- ・S造ラーメン構造 ・地上4階・地下なし ・建築面積 4,860m² ・延床面積 19,440m²
- ・用途：1～3階 店舗、4・R階 駐車場

試算条件

- ①2011年6月の東京都区における各資材単価および施工単価にてコスト算出
- ②普通コンクリート(21-18-20N)@12,650円/m³、軽量コンクリート1種(21-18-15N)@19,100円/m³
- ③鉄筋材料単価 D13(SD295A)@66,000円/t、D19～D25(SD345)@67,000円/t
- ④鉄骨材料単価 型鋼H-300×150 @83,000円/t
- ⑤2階以上の床スラブに軽量コンクリート1種($\gamma=18.5$ kN/m³)を使用(基礎・1階床は普通コンクリート)

部位	工種	仕様	普通コンクリート		軽量コンクリート($\gamma=18.5$)		差異	
			数量	工事費(千円)	数量	工事費(千円)	数量	工事費(千円)
基礎	杭工事	直接基礎						
	土工事	ステコン:F _c =18N/mm ²	1式	26,606	1式	24,897		▲1,709
	基礎コン	F _c =24N/mm ²	2,598m ³	35,321	2,442m ³	33,209	▲156m ³	▲2,112
		スランブ=18cm						
	型枠工事	普通型枠	4,134m ²	13,105	4,136m ²	13,111	2m ²	6
	鉄筋工事	SD295A、SD345	477.0t	52,351	474.0t	52,028	▲3.0t	▲323
	基礎小計		127,382		123,245		▲4,137	
鉄骨	—	材工とも	2,248t	601,692	2,016t	539,476	▲232t	▲62,215
スラブ	—	デッキPL+コンクリート	20,020m ²	130,666	20,020m ²	150,808	0m ²	20,142
	合計		100%	859,740	94.6%	813,529	▲5.4%	▲46,211

軽量コンクリートの単位水量

軽量コンクリートの単位水量測定には、様々な誤差要因が存在するが、その中で最も誤差が大きくなるとされている要因は、「軽量粗骨材の過小粒の変動」と「プレウェッティングによるばらつき」である。単位水量測定方法の多くはコンクリートを5mmふるいにかけて、モルタル分を取り出す「ウェットスクリーニング」の手法を用いるが、この作業によりプレウェッティングされた軽量粗骨材が含有している5mm以下の部分がモルタル分に内在することになる。この5mm以下の部分の含有量と事前吸水量のばらつきが大きな誤差要因となっており、正確な測定ができないのが現状である。そこで単位水量測定方法に関して以下の影響確認を目的として実験を実施した。

①単位水量の違いによる影響、②粗骨材の過小粒の影響、③測定方法の違いによる影響

表-1にコンクリート調査条件を示す。軽量骨材はプレウェッティングしたものを使用した。

表-2に各種単位水量測定方法の測定原理および特徴を示す。試験方法は4種類とし、それぞれの試験方法に準拠して実施した。また、「ウェットスクリーニング」は、フレッシュコンクリートの単位水量の迅速推定方法(高周波加熱法)(案)を参考として実施した。

表-1 コンクリート調査条件

調査条件	調査値
目標スランプ(cm)	20±2
目標空気量(%)	5.0±1.5
水セメント比(%)	45, 50, 55
単位セメント量(kg/m ³)	336
粗骨材過小粒(%)	5, 10, 15

表-2 各種単位水量測定方法の測定原理および特長

名称	エアメータ法 (土研法)	エアメータ法 (W-Checker)	高周波加熱乾燥 (電子レンジ)法	静電容量法
測定原理	単位水量が増加するとコンクリートの単位容積質量が小さくなる。この性質を利用し、単位容積質量の違いから単位水量を推定。	生コンが計画した調査通りであるかを、単位容積質量と空気量の関係から求めるものである。空気量の測定値が理論値と異なる場合には、細骨材質量の計量値には骨材以外に水量が含まれたことになり、この水量から単位水量と水セメント比を算出。	コンクリートからふるい分けたモルタル分を、電子レンジで加熱乾燥させ、質量減少量とコンクリートの単位水量の相関性が高いことを利用し、コンクリートの単位水量を測定。	物質の誘電率が水分量によって変化することを応用。モルタル中の静電容量と水分率の関係式をあらかじめ求めておき、機械でモルタル中の静電容量を測定することにより単位水量を推定。
特長	<p><長所> 空気量測定時に質量を測定するだけで単位水量が推定できる。無注水法でも注水法と同等の精度で推定できる。</p> <p><短所> 骨材の密度を正しく求めておく必要がある。</p>	<p><長所> 生コンクリートの受け入れ試験として行われる空気量測定試験とほぼ同等の作業で測定が可能「W-Checker」(はかりが1g、空気量が0.1%の測定が可能)を用いることで、高精度な単位水量測定が可能。</p> <p><短所> 骨材の密度を正しく求めておく必要がある。</p>	<p><長所> 使用する機械が電子レンジ、はかり、パソコン(表計算ソフト)であり入手が容易。</p> <p><短所> モルタルで試験を行うためにウェットスクリーニングに伴う誤差を補正する必要がある。長時間使用すると電子レンジが劣化する。電源が必要。</p>	<p><長所> 2電源対応(AC電源、乾電池)126点の測定データの記憶、プリンター出力が可能、測定に際して特別な技術は不要。</p> <p><短所> 高精度を保証するには事前に検量線のチェック・見直しが必要。</p>
試料	コンクリート	コンクリート	モルタル	モルタル

図-1に単位水量測定結果を示す。なお、図中の青色破線はレディーミクストコンクリートの単位水量測定管理値である $\pm 15\text{kg}/\text{m}^3$ を表示している。

- ① 軽量コンクリートの推定単位水量は、普通コンクリートと比較して実際の単位水量よりも大きくなる傾向がある。
- ② 試料がコンクリートの場合の単位水量測定方法は、軽量コンクリートの単位水量を管理値以内で推定可能である。
- ③ 試料がモルタルの場合では、骨材の吸水率や過小粒の度合い等を考慮する必要がある。

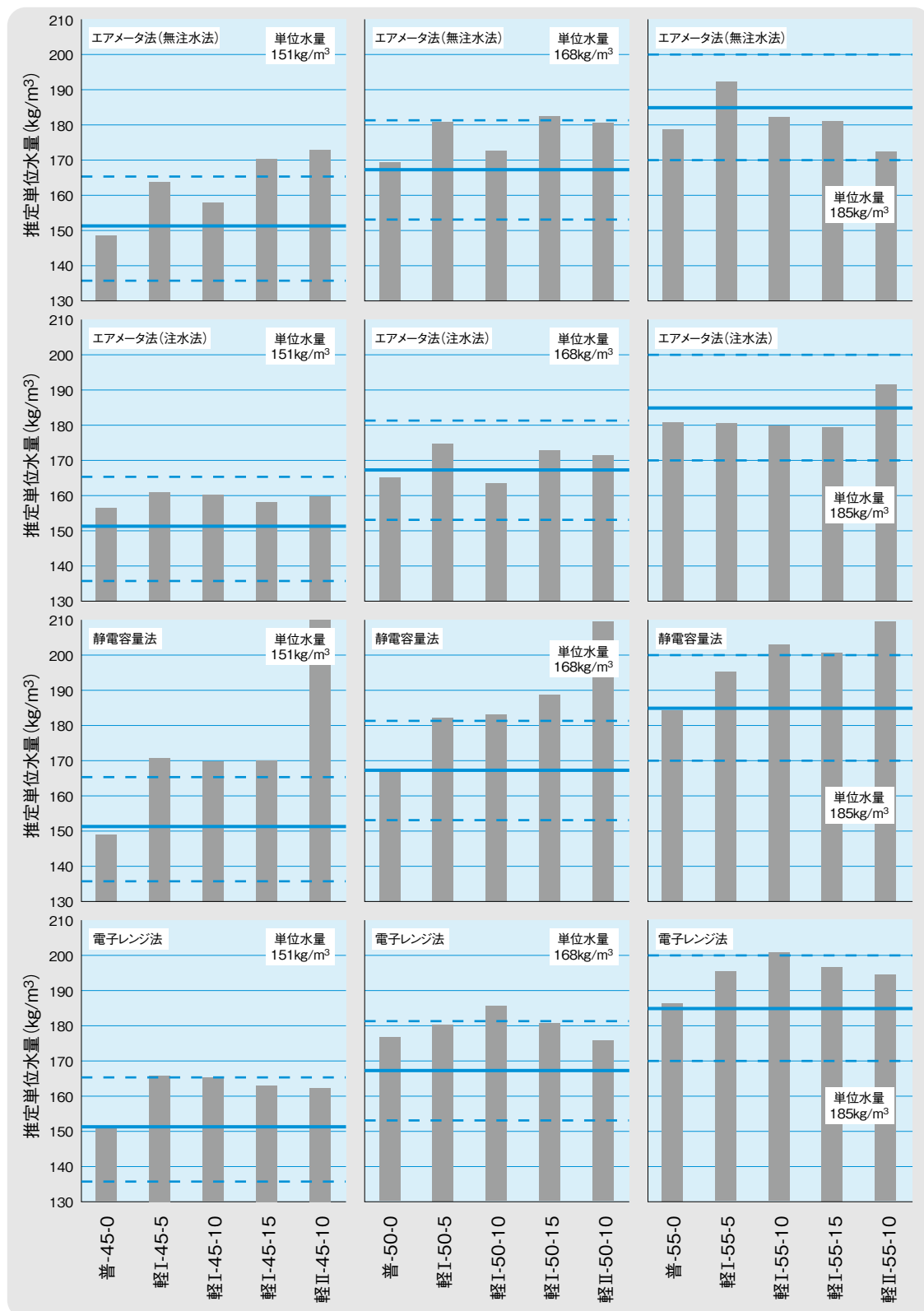


図-1 単位水量測定結果

軽量コンクリートの単位容積質量

1. 軽量コンクリートの気乾単位容積質量

JASS5(2009年版)によれば、軽量コンクリートの気乾単位容積質量は使用する粗骨材と細骨材の組み合わせにより変化することから原則として特記による。特記がない場合は表-1による。

表-1 軽量コンクリートの気乾単位容積質量の範囲の標準

コンクリートの種類	気乾単位容積質量の範囲の標準 (t/m ³)
軽量コンクリート1種	1.8~2.1
軽量コンクリート2種	1.4~1.8

調合設計時、気乾単位容積質量は計画調合の単位セメント量、単位細骨材量、単位粗骨材量および自由水量から推定する。推定式は以下に示す式1による。

$$W_d = G_0 + G'_0 + S_0 + S'_0 + 1.25C_0 + 120 \cdots \text{(式1)}$$

- W_d : 気乾単位容積質量の推定値 (kg/m³)
- G_0 : 計画調合における軽量粗骨材量 (絶乾) (kg/m³)
- G'_0 : 計画調合における普通粗骨材量 (絶乾) (kg/m³)
- S_0 : 計画調合における軽量細骨材量 (絶乾) (kg/m³)
- S'_0 : 計画調合における普通細骨材量 (絶乾) (kg/m³)
- C_0 : 計画調合における単位セメント量 (kg/m³)

本推定式は古くからJASS5に推定式として採用されていたが、制定された当時と軽量骨材の含水状態が異なっていること等から2006年に推定式の信頼性を確認する目的で、当協会において確認試験¹⁾を行っている。その結果、式1による推定値と実測値は合致している。

2. ALA協会による軽量コンクリートの単位容積質量試験

試験概要

軽量コンクリート1種、2種および細骨材に軽量細骨材、粗骨材に砕石を用いたコンクリート(砂軽量)について単位容積質量を試験した。気乾単位容積質量の試験方法はJASS5 M-201:2003「人工軽量骨材の性能判定基準」に準じた。試験に用いたコンクリートの調合およびその他の性状を表-2に示す。

試験結果

供試体寸法φ15×30cmの単位容積質量測定結果を図-1に示す。JASS 5 M-201:2003では材齢91日まで温度20(±3)℃、湿度60(±5)%の恒温恒湿室内に存置することとしているため、恒温恒湿室内に存置した。材齢91日以後は、雨懸かりのない屋外に存置し、材齢490日(70週)で測定を行った。いずれの試験体も材齢91日でほぼ平衡状態となっている。推定値との比較結果を図-2に示す。φ15×30cmの供試体測定結果については、式1による推定値とほぼ一致している。

凡例	軽量骨材	
	A	M
W/C	55	●
	45	○
	35	○

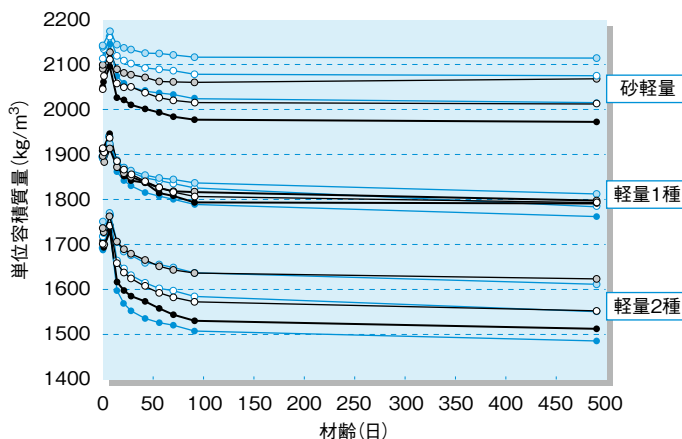


図-1 単位容積質量測定結果

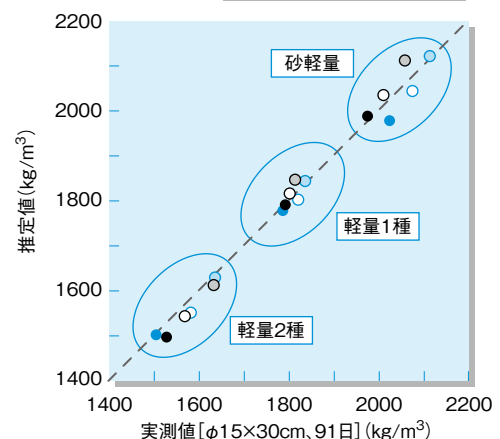


図-2 推定値との比較

表-2 基本調査およびコンクリートの性状

軽骨種類	種別	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						推定値(kg/m ³)	フレッシュ性状			圧縮強度(N/mm ²)
				W	C	S軽量※1	S普通	G軽量※1	G普通		スランブ(cm)	空気量※2 (%)	単位容積質量(kg/m ³)	
A	1種	55	47.5	180	327	—	823	438	—	1778	18.5	5.0	1899	37.1
	2種		49.0	170	309	561	—	435	—	1502	19.5	5.9	1691	28.0
	砂軽		49.0	170	309	561	—	—	920	1980	20.5	3.5	2095	28.0
	1種	45	44.5	180	400	—	745	446	—	1801	18.0	5.6	1891	45.1
	2種		46.0	170	378	510	—	446	—	1549	20.5	5.6	1719	40.1
	砂軽		46.0	170	378	510	—	—	944	2040	21.5	4.2	2112	41.0
	1種	35	40.5	175	500	—	649	459	—	1844	17.5	6.5	1890	52.8
	2種		42.0	175	500	435	—	448	—	1628	22.5	6.2	1748	49.7
	砂軽		42.0	175	500	435	—	—	947	2120	21.0	4.7	2140	56.8
M	1種	55	47.5	170	309	—	843	455	—	1792	22.5	4.5	1910	31.7
	2種		49.0	157	285	568	—	455	—	1499	21.0	3.4	1706	26.3
	砂軽		50.0	150	273	589	—	—	944	1987	20.5	4.8	2053	25.8
	1種	45	44.5	165	367	—	775	471	—	1814	21.5	4.9	1912	41.6
	2種		46.0	155	344	521	—	471	—	1542	23.0	4.9	1701	37.9
	砂軽		48.0	150	333	550	—	—	954	2033	20.5	6.1	2044	36.8
	1種	35	40.5	160	457	—	679	488	—	1848	22.0	6.2	1896	49.1
	2種		42.0	160	457	448	—	475	—	1614	24.0	5.3	1735	49.9
	砂軽		44.0	155	443	476	—	—	969	2112	20.0	5.7	2098	53.5

※1:値は絶対密度による値を示す。

※2:圧力法

3. 施工管理における単位容積質量

気乾単位容積質量は供用期間中の質量であるため、施工時のフレッシュ状態では判定することが出来ない。そこで、施工時の品質管理・検査としては計画調査に示された材料の単位量(使用量)を用いて式2によりフレッシュコンクリートの単位容積質量(計算値)を求めて品質管理・検査を行う。計算値と測定値の差の許容範囲は±3.5%とする。

$$W_w = G_0 \left(1 + \frac{pG}{100}\right) + G'_0 \left(1 + \frac{pG'}{100}\right) + S_0 \left(1 + \frac{pS}{100}\right) + S'_0 \left(1 + \frac{pS'}{100}\right) + C_0 + W_0 \quad \dots \text{(式 2)}$$

W_w : 計画調査から求めたフレッシュコンクリートの単位容積質量(kg/m³)

G_0 : 計画調査における軽量粗骨材量(絶乾)(kg/m³)

G'_0 : 計画調査における普通粗骨材量(絶乾)(kg/m³)

S_0 : 計画調査における軽量細骨材量(絶乾)(kg/m³)

S'_0 : 計画調査における普通細骨材量(絶乾)(kg/m³)

C_0 : 計画調査における単位セメント量(kg/m³)

W_0 : 計画調査における単位水量(kg/m³)

pG : 使用時における軽量粗骨材の吸水率(%)

pG' : 使用時における普通粗骨材の吸水率(%)

pS : 使用時における軽量細骨材の吸水率(%)

pS' : 使用時における普通細骨材の吸水率(%)

参考文献

1) 石川寛範・清水昭之・石川雄康：軽量コンクリートの気乾単位容積質量に関する基礎的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，2008.9

軽量コンクリートのポンプ圧送性能

軽量コンクリートをコンクリートポンプを用いて圧送する場合、軽量骨材の圧力吸水によりスランプ低下や配管閉塞の恐れがある。しかし、適切な圧送を行えば、スランプ低下や配管閉塞の危険性は大きく低下する。

1. 材料面での注意点

(1) 軽量骨材の事前吸水(プレソーキング)

軽量骨材は骨材工場での製造時に含水率を高めるため、製造工程中での熱間吸水を行っている。これは、焼成された骨材が温度が高い段階で水に浸すもので、このプレソーキング量が多いと圧力吸水量も低くすることができる。図-1に粗骨材の水における、加圧吸水性状を示す。初期吸水率が少ない(試料C)と最大加圧時吸水率と初期吸水率の差が大きく、圧力吸水が大きい結果となっているが、十分にプレソーキングされたもの(試料A)ではこの差が小さくなっている。

(2) 保管時の散水(プレウェットイング)

軽量コンクリートを出荷可能な生コン工場では骨材の乾燥防止のため、スプリンクラー等の散水設備を備えている。適切な骨材保管が可能な生コン工場を選定することが重要である。

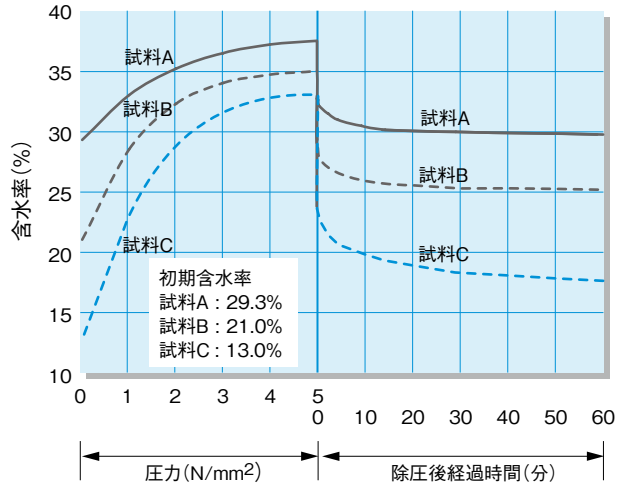


図-1 粗骨材の水における加圧吸水性状¹⁾

2. 調査上の注意点

軽量コンクリートは圧送前のスランプが18cm以下の場合、圧送によるスランプ低下(圧送ロス)が2~3cmとなることがある。スランプの管理値を18cmとした場合、低層部分の打設には問題が無くても、高層部分での打設においては圧送ロスが大きくなる恐れがある。このことから、高所圧送等の圧送距離が長い場合にはスランプの管理値を21cmとすることを推奨している。図-2にS造39階建の事務所ビルにおける圧送ロスを示す。これによると、最大5cm程度の圧送ロスが生じている。

コンクリートの調査と打設概要

工場	記号	打設時期	打設階
工場A	24-18-175	4~6月	2~7F
	24-18-180夏	6~9月	8~16F
	24-21-185	9~11月	17~25F
	27-21-185	12~3月	27~39F
工場B	24-18-180	4~6月	4~8F
	24-18-184夏	6~9月	9~15F
	24-21-185	10~11月	18~26F
	27-21-185	12~2月	27~38F

記号：呼び強度-スランプ-単位水量、夏：夏季調査
スランプ21cmは筒先で18cmを目標とした

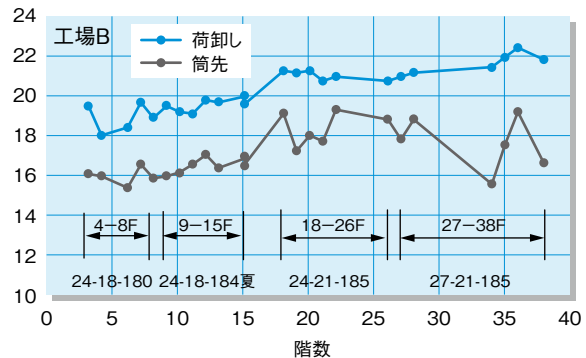
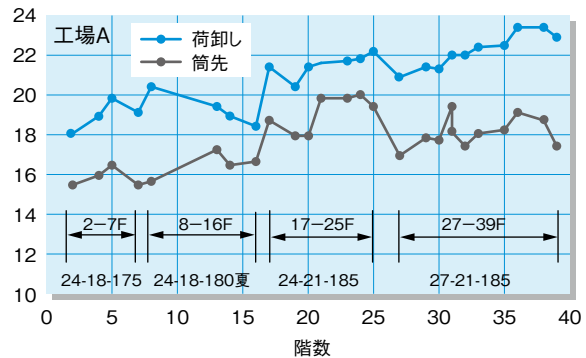


図-2 軽量コンクリートの圧送前後のスランプ²⁾

やむを得ず、スランブ18cmで管理する場合、高層部分の打設で圧送ロスが大きくなった場合に速やかに対応できるよう、スランブ21cmの調合設計も行っておくと良い。

また、単位水量が185kg/m³以下の場合、混和剤の種類や使用状況等による差異はあるものの、スランブ低下が大きくなる傾向が見られる(図-3)。軽量コンクリートの場合、骨材の圧力吸水により、特に単位水量が小さい場合、圧送が困難になったり配管閉塞をおこしやすくなることがある。

単位水量を大きくすると収縮が大きくなるのではとの心配があるが、図-4および図-5に示したように、単位水量やスランブの違いが長さ変化に影響することはほとんどない。

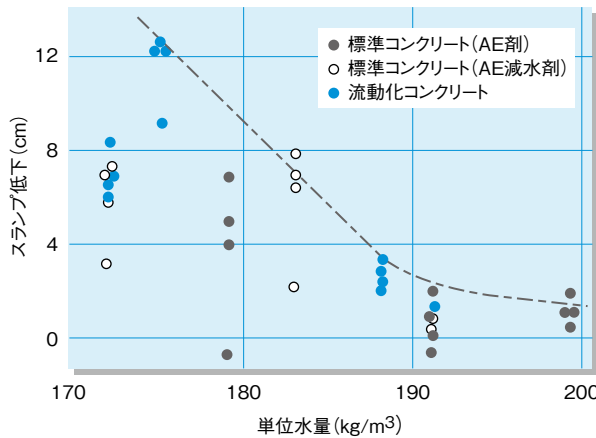


図-3 軽量コンクリートの単位水量と圧送によるスランブ低下の関係¹⁾

調合条件(呼び強度24程度)

種類	記号	目標スランブ (cm)	混和剤種類	単位水量 (kg/m ³)
軽量1種 ρ1.85	I-1	21	SP	170
	I-2		SP	180
	I-3		AE	190
軽量2種 ρ1.65	II-1	18	SP	170
	II-2		AE	180
	II-3		AE	190
	II-4	21	SP	170
	II-5		SP	180
	II-6		AE	190

図中の普通コンクリートは粗骨材に石灰石を使用しており、軽量コンクリートは普通コンクリートに比べて長さ変化は緩やかで、乾燥材齢182日では同程度の測定結果となっている。

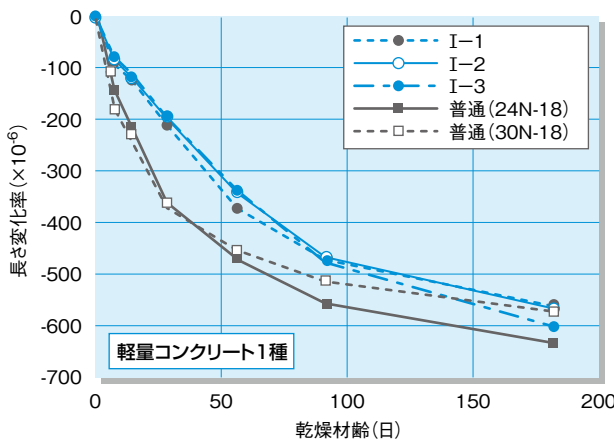


図-4 長さ変化率試験結果(軽量1種)

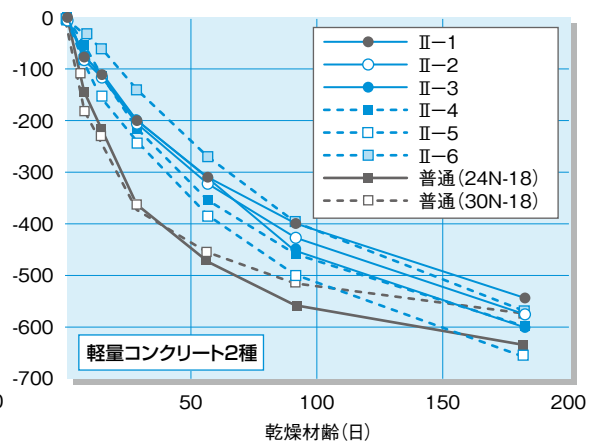


図-5 長さ変化率試験結果(軽量2種)

3. 施工面での注意点

- 配管は必ず5インチ管(125A)以上を使用する。
- 曲がり管(ベント管)を多用すると、管内圧力が増大し、圧送ロス増大の危険が増すので、配管計画を適切に定める。
- 筒先のテーパ管(しぼり管)は短いものほど、圧送抵抗も増大するので、極力長いものを使用する。
- 圧送の初期段階から高速圧送すると、配管閉塞の恐れがあるので、打ち始めはゆっくりと。
- スランブ25cmを超えるような分離気味のコンクリートは圧送しない。
- 圧送中断は出来るだけ短時間に(特に暑中時)。
- 特に圧送が困難となることが予想される場合(高所・長距離)は、実際の工事条件に近い状態での圧送試験を実施する。

軽量コンクリートは横浜ランドマークタワーや阿倍野ハルカス等の超高層ビルでも使用されています。骨材の含水管理や配管計画に配慮すれば、高所圧送や40～50N/mm²程度の高強度コンクリートの圧送も可能である。

軽量コンクリートのポンプ圧送例

物件名(工事名)	所在地	軽量コンクリート種別	高さ(m)/階数
東京都庁	東京都新宿区	軽量1種	243m/48階
横浜ランドマークタワー	神奈川県横浜市	軽量1種	297m/70階
東京ミッドタウン ミッドタウンタワー	東京都港区	軽量1種	248m/54階
六本木ヒルズ 森タワー	東京都港区	軽量1種	238m/54階
東京オペラシティ	東京都新宿区	軽量2種	234m/54階
NTTドコモ代々木ビル	東京都渋谷区	軽量2種	239m/27階
JRセントラル Towers(オフィス棟)	名古屋市	軽量1種	245m/51階
阿倍野ハルカス	大阪市	軽量1種	300m/60階
WTCコスモタワー	大阪市	軽量1種	256m/55階
中之島フェスティバルタワー	大阪市	軽量1種	198m/37階
関電ビルディング	大阪市	軽量1種	195m/41階

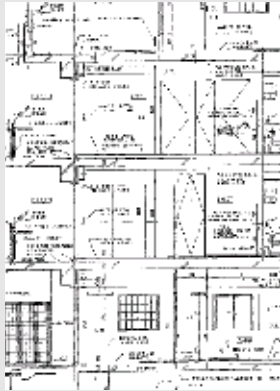
参考文献

- 1) 日本建築学会:コンクリートポンプ工法施工指針・同解説2009
- 2) 神代泰道・植松俊幸・一瀬賢一:施工性を考慮した軽量コンクリートの調査条件に関する考察,コンクリート工学年次論文集,Vol.31,No.1,2009

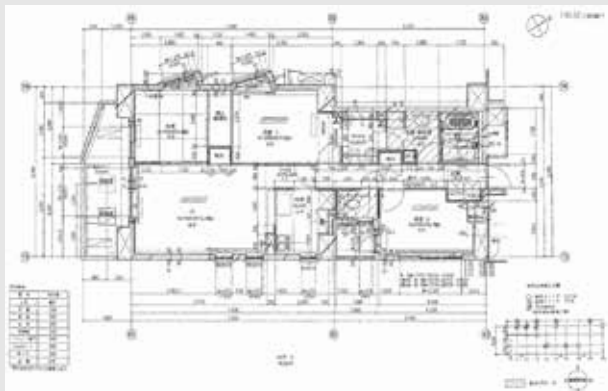
軽量コンクリートの遮音性

軽量コンクリート床の遮音性は普通コンクリートに比べ、大差ない結果が得られている。ここでは、スラブ厚さ200mmの重量床衝撃音の測定例を示す。なお、スラブ厚さ160mm～180mmの測定結果については、技術資料No16「軽量コンクリートの遮音性能」を参照願う。

- 概要** (1)建物概要 鉄筋コンクリート造、地上9階、延べ床面積3,322m²
(2)測定対象 LDと洋室1の2室。コンクリート床スラブ厚さは200mm、フローリング仕上げ(二重床)。
使用コンクリートは、2階床までは普通コンクリート、2階立ち上がりから上階は軽量コンクリート1種。



断面図



測定対象室(平面図)

測定結果

(1)仕上げ前(スラブ素面) LDでは軽量コンクリートの方が、洋室では普通コンクリートの方が良い結果となった。

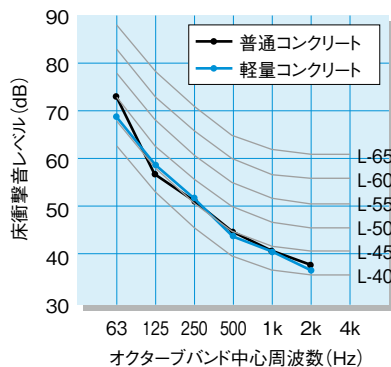


図-8 LD 仕上げ前

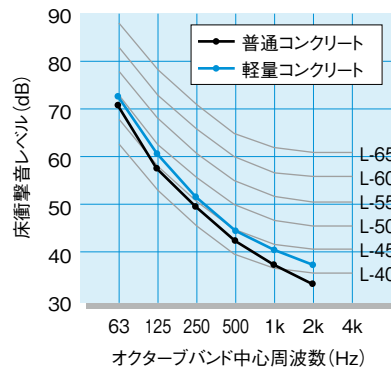


図-9 洋室 仕上げ前

(2)仕上げ後(フローリング二重床、二重天井)の結果

仕上げ前と比較して遮音性は全般的に低下するが、コンクリート種類による差は殆ど見られない。

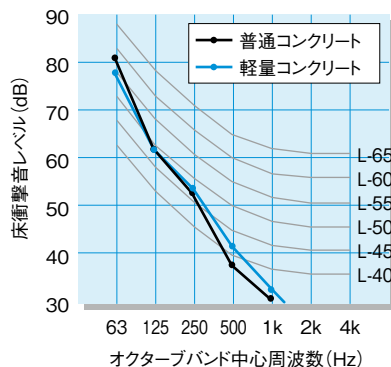


図-10 LD 仕上げ後

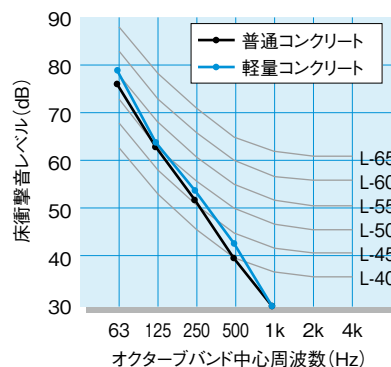


図-11 洋室 仕上げ後

床の遮音性能は、部屋の面積、柱・梁の拘束条件、開口部の大小などに影響を受けるが、これらを同一条件とした場合は、コンクリート種類による差はほとんど見られない結果が得られている。

軽量コンクリートの施工上の留意点

1. ポンプ圧送

- ポンプ圧送の配管は必ず125A以上を使用して下さい。
- 曲がり管(ベント管)を多用すると、管内圧力が増大し、スランプダウンの増大や閉塞の危険が増しますので、配管計画に注意して下さい。
- 筒先のテーパ管(絞り)は、短いものほど絞り率が大きくなり、圧送抵抗も増大します。閉塞防止からテーパ管はなるべく長いものを使用して下さい。
- ポンプ圧送初期から高速圧送すると閉塞する恐れがあるので、打ち始めは様子を見ながらゆっくり圧送する。
- スランプが25cmを超え、かつ分離したコンクリートは管内閉塞の恐れがあるので圧送しないで下さい。
- 暑中時の圧送の中断は、圧送管内抵抗が大きくなり閉塞する恐れがあるので、極力短時間として下さい。
- ブーム管は極力使用しないで下さい。

2. 打込み・締固め

- 打込み時、バイブレーターを過度に使用すると人工軽量粗骨材がモルタルと分離し、打込み面に過剰に浮き上がることがあるので注意する。
(特に床スラブ)
- バイブレーターによる横流しや高い場所からの投入は、粗骨材の過剰な浮き上がりや材料分離に伴うジャンカなど、施工不良の原因となるので避ける。
(特に柱、壁)



過度なバイブレーター使用による粗骨材の浮き

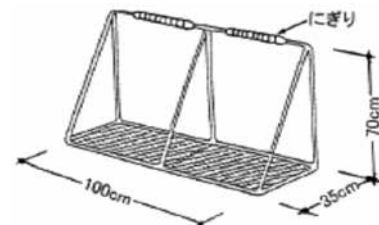
3. 仕上げ

- ブリーディング水はコンクリート面の仕上げ程度を悪くするので取り除く。
- 軽量骨材コンクリートの表面を平滑に仕上げが必要な場合は、ジッターバッグ(鉄網のついている突き金具:下図参照)を用いて叩いてから仕上げを行う。
- コンクリートの表面を押さえる時間は、季節と温度などによって異なるが、一般にセメントの凝結が始まる直前(打込み後1~2時間)がよい。



4. 養生

- 打込み後できるだけ長期間、表面部分を湿潤に保つ。せき板に接する部分は、存置期間を十分とる。
- スラブ表面は堪水、散水、不透水性シートで覆う。
- 皮膜養生剤を使用の場合は、湿潤状態を保つ。
- 湿潤養生終了後も表面の急激な乾燥を避ける。



ジッターバック(例)

引用文献

- 建築工事標準仕様書 JASS5 鉄筋コンクリート工事 16節 軽量コンクリート
- 軽量コンクリート(笠井芳夫【日本大学名誉教授】編)(5)軽量骨材コンクリート
- 軽量骨材コンクリートハンドブック(日刊工業編)

人工軽量骨材コンクリート技術資料リスト

No.2 ポンプ施工

人工軽量骨材コンクリートのポンプ施工について

1. 人工軽量骨材コンクリートのポンプ圧送における留意事項
2. コンクリートの配(調)合計画の要点
3. コンクリートの圧送計画
4. レデーミクストコンクリートの製造上の注意点
5. ポンプ圧送
6. 打込みおよび締固め
7. 床版の直仕上げ
8. 養生
9. 品質管理

No.3 耐久性

人工軽量骨材コンクリートの耐久性について

1. 中性化
2. 塩分、錆
3. ひびわれ
4. 耐凍害性
5. アルカリ骨材反応

No.4 力学的特性

人工軽量骨材コンクリートの力学的特性について

1. 強度
2. 弾性特性
3. 単位容積重量
4. 乾燥収縮
5. 水密性
6. 熱的特性
7. 耐火性能

No.5 高強度コンクリート

高強度人工軽量骨材コンクリートの基礎的性質について

1. 目標とするコンクリートの性能と実験に用いた調合条件
2. フレッシュコンクリートの性質
3. 硬化コンクリートの性質

No.6 靱性能とせん断強度

人工軽量骨材コンクリート部材の靱性能とせん断強度の構造試験について

1. 靱性試験
2. せん断試験

No.7 靱性能とせん断強度(続)

高強度人工軽量骨材コンクリート部材の靱性能とせん断強度の構造試験について

1. 靱性試験
2. せん断試験

No.8 ポンプ施工(続)

高強度人工軽量骨材コンクリートのポンプ施工について

- 高強度人工軽量骨材コンクリートのポンプ施工
 1. 平成3年度建設省通達の概要
 2. 高強度軽量コンクリートの施工実績
 3. ポンプ施工上の留意事項
- 建設省通達(平成3年1月31日住指発第32号)

No.9 高性能AE減水剤

高性能AE減水剤を用いた軽量コンクリートの基礎物性と施工性について

1. 基礎物性試験
2. 施工性試験
3. 高性能AE減水剤を用いる軽量コンクリートの参考調合表
4. 日本建築学会「高性能AE減水剤コンクリートの調合・製造および施工指針(案)・同解説」における主な軽量コンクリート関連

No.10 鉄筋コンクリート部材の設計法

高強度($F_c=360\text{kgf/cm}^2$)の人工軽量骨材コンクリートを用いた鉄筋コンクリート部材の構造性能とその設計法について

1. 線材・面材の構造性能
2. 柱・梁接合部の構造性能

No.11 コンクリートの調合(軽量・普通コンクリート)

1. 実験計画
 - 1.1 対象としたコンクリート
 - 1.2 使用材料
 - 1.3 試験項目と試験方法
 - 1.4 実験の組合せおよび手順
2. 調合実験の経過と結果
 - 2.1 普通コンクリートについて
 - 2.2 軽量コンクリートについて
3. 硬化コンクリートの性質
 - 3.1 普通コンクリート
 - 3.2 軽量コンクリート
4. 標準調合の提案
 - 4.1 普通コンクリート
 - 4.2 軽量コンクリート

No.12 世界の軽量コンクリート技術の現状

1995.6 ノルウェー開催・国際会議の論文紹介

1. 軽量骨材の発展についての概観—歴史と実態調査
2. 軽量コンクリート橋梁構造物の長期供用性能
3. 日本における軽量骨材コンクリートの発展
4. 軽量骨材コンクリートの設計基準
5. Norwayにおける軽量骨材コンクリート
7. 軽量骨材コンクリートを用いた橋梁と海洋構造物の設計事例
8. 軽量コンクリートに対するMODEL CODE 90の補足
9. 軽量骨材コンクリート製石油掘削プラットフォームへの適用
10. 高強度軽量コンクリートの脆性について
11. 鉄筋の重ね継手部を有する壁状パネルの実物大実験
12. 大型I型はりのせん断耐荷力
13. せん断補強筋のない軽量コンクリートはりのせん断耐荷力
14. 軽量コンクリートの付着、テンションステイフィングおよびひび割れ幅制御
15. 軽量コンクリートを使用した斜張橋“IROISE”橋
16. Californiaの橋梁構造物の耐震設計における軽量コンクリートの適用
17. 北海で使用された軽量骨材LYTAGの製造と物性
18. 高強度軽量骨材コンクリートのHEIDRUN TLPへの適用
19. 海洋コンクリートプラットフォームへの軽量骨材の利用
20. NORDHORDLAND斜張橋及びST Φ VSET橋の建設
21. 乾燥骨材による高強度軽量コンクリートの製造
22. 高強度軽量コンクリートの力学的物性・耐久性・耐震性について
23. 水和による高温度にさらされた軽量コンクリートの科学的安定性
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
25. 練直ししない軽量コンクリートの強度低下
26. 高強度軽量コンクリートの凍害融解試験:内部亀裂vsスケーリング
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
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
29. 骨材の吸収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
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
31. 高性能軽量骨材コンクリートのための使用材料
32. 骨材混合によるコンクリートの養正効果
33. 高強度軽量コンクリートの特性

No.13 鋼繊維補強軽量コンクリート(SFLRC)

鋼繊維を混入した人工軽量骨材コンクリートの基礎物性と特性について

No.14の7. 技術資料へ転記

No.14 鋼繊維補強軽量コンクリート(SFLRC)

設計施工マニュアル

1. 鋼繊維補強軽量コンクリート床板の設計
2. 鋼繊維補強軽量コンクリートの施工
3. 鋼繊維補強軽量コンクリート床板の輪荷重重走行試験
4. 鋼繊維補強軽量コンクリートはり部材の曲げ疲労試験
5. 鋼繊維補強軽量コンクリートによる合成桁のひび割れ制御
6. 鉄道橋梁への適用事例
7. 技術資料
8. 資料編

No.15 ハーフ軽量コンクリートのRC造への適用

スラブに軽量コンクリート、梁に普通コンクリートを用いた複合コンクリート部材の構造性能

1. 人工軽量コンクリートを用いたRC造集合住宅の最適化設計とコスト試算
2. ハーフ軽量T型梁の構造性能
 - 2-1. 実験概要
 - 2-2. 実験結果
 - 2-2-1. 破壊経過
 - 2-2-2. 荷重—変形関係の包括線の比較
 - 2-2-3. 諸強度の実験値と計算値
 - 2-2-4. 等価粘性減衰定数の比較
 - 2-2-5. 耐力維持率
3. まとめ

No.16 軽量コンクリートの遮音性能

1. 床スラブ厚160~180mmの測定例
2. 床スラブ厚200mmの測定例
3. 空間音圧レベル差
4. 受音室面積の影響
5. 特別評価方法認定

No.17 人工軽量骨材のアルカリ骨材反応性

1. はじめに
2. アルカリ骨材反応対策
3. 使用材料
4. 軽量骨材の鉱物組成及び化学成分
5. 骨材のアルカリ溶出量
6. 骨材のアルカリシリカ反応性
 - 6-1. 化学法
 - 6-2. モルタルバー法
 - 6-3. モルタルのASRゲルの生成状況と化学組成
 - 6-4. コンクリートのアルカリシリカ反応性
7. まとめ

No.18 鉄骨造建築物の経済設計

(スラブに軽量コンクリートを使用)

1. 鉄骨造オフィスビル(12階)における経済性
 - 1-1. はじめに
 - 1-2. 試算用建物概要
 - 1-3. 構造部分直接工事費試算結果(概要)
 - 1-4. 試算結果
 - 1-5. 建物概要
2. 鉄骨造大型店舗における経済性
 - 2-1. はじめに
 - 2-2. 試算用建物概要
 - 2-3. 構造部分直接工事費試算結果(概要)
 - 2-4. 試算結果
 - 2-5. 建物概要

No.1 床の遮音(廃版)

宇部興産株式会社

〒105-8449

東京都港区芝浦1-2-1 シーバンスN館

TEL.03-5419-6206 FAX.03-5419-6265

住友大阪セメント株式会社

〒102-8465

東京都千代田区六番町6-28

TEL.03-5211-4752 FAX.03-3221-5624

太平洋セメント株式会社

〒135-8578

東京都港区台場2-3-5 台場ガーデンシティビル

TEL.03-5531-7396 FAX.03-5531-7594

日本メサライト工業株式会社

〒273-0017

千葉県船橋市西浦3-9-2

TEL.047-431-8138 FAX.047-431-2464

人工軽量骨材（ALA）協会

(ALA;Artificial Light-Weight Aggregate Association)

〒110-0005

東京都台東区上野1-12-2 亀田ビル

TEL/FAX.03-3837-0445

ホームページ <http://www3.ocn.ne.jp/~ala/>

E-mail ala@chive.ocn.ne.jp