

論文 中国産人工軽量骨材を使用したコンクリートの物性

九々 正武^{※1}・坂口 昇^{※2}・木村 薫^{※3}

要旨：最近開発された中国産人工軽量骨材（絶乾密度0.79と1.27）を使用したコンクリートの強度等物性は、気乾単位容積質量が $1.2 \sim 1.8 \text{ t/m}^3$ の範囲で圧縮強度 $32 \sim 63 \text{ N/mm}^2$ 、引張強度 $2.2 \sim 4.3 \text{ N/mm}^2$ 、静弾性係数 $1.2 \sim 2.6 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ の値が得られた。使用した中国産人工軽量骨材の特徴は、形状が角張った碎石状で、吸水率が $1.8 \sim 2.5\%$ である。また、コンクリートの特徴は、調合において単位水量が $145 \sim 155 \text{ kg/m}^3$ と少なく、目標単位容積質量は自在に変化させることが可能であり、ワーカブルなコンクリートとなっている。一方、硬化コンクリートは圧縮強度が高く、高強度コンクリートへの適用も可能である。

キーワード：中国産人工軽量骨材、軽量コンクリート、超軽量コンクリート

1. はじめに

人工軽量骨材の国内生産が始められておよそ35年ほど経過しており、最盛期には国内生産が間に合わないほどだったと伝えられている。しかし、その需要量も1990年代前半から減少傾向にあります。

しかしながら建造物の軽量化は耐震設計や外断熱工法およびエコマテリアルの観点から、今や必修条件とも言えるほど定着しつつあり、必ずや需要の拡大とさらなる品質の向上が望まれ、将来が期待できるものと考えられる。

筆者らは軽量骨材でも、とりわけ絶乾密度が1.0以下のいわゆる超軽量骨材の開発とそれを使用した超軽量コンクリートの開発および実用化を図ってきたが、この超軽量骨材の生産に要する原材料の加工などのエネルギーコストは市販の普通軽量骨材に比べかなり割高で、採算ベースに乗せるには量販などに頼る考えのほかなかったのが現状である。

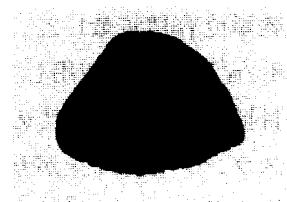
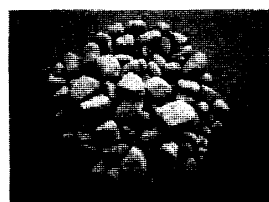
このような中、次世代の人工軽量骨材としてローコストで安定した品質と供給が可能な骨材を模索してきたところ、ここに中国黄河流域の堆積粘土土系を原材料とした人工軽量粗骨材が試

作された。本論ではこの中国産軽量骨材を用いた軽量コンクリートの基礎的な性状について述べるものである。

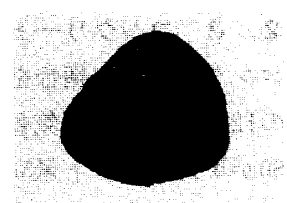
2. 軽量コンクリートの性質

2.1 使用材料

中国産軽量粗骨材（NLL・NLG）の外観と断面の状態を写真-1に示す。この軽量骨材は碎石状に角張っているのが特徴である。



NLL（絶乾密度 0.79）



NLG（絶乾密度 1.27）

写真-1 軽量骨材の外観と断面

- ※1 清水建設（株）建築本部技術開発部（正会員）
 ※2 清水建設（株）建築本部技術開発部 工博（正会員）
 ※3 （株）ネオマテリアル（正会員）

表－１ 使用材料

種 類	呼 称・適用	単容質(t/m ³)	実績率(%)	絶乾密度	吸水率(%)	粗粒率(FM)
水	地下水(W)	－	－	－	－	－
セメント	早強ポルトランド(C)	－	－	3.14	－	－
粗 骨 材	N L L : 5～15mm(L)	0.448	56.7	0.79	2.5	6.22
	N L G : 5～15mm(G)	0.724	57.0	1.27	1.8	6.31
細 骨 材	普通砂 : 5mm以下(S)	1.480	56.9	(2.64)	1.5	2.89
	超軽砂 : 5mm以下(M)	0.410	54.7	0.75	2.1	1.38
混 和 剤	高性能減水剤(K)	ポリエーテル系高性能減水剤				
	空気量調整剤(A)	アニオン系表面活性剤				

表－１に使用材料を示す。

表中のN L LとN L Gが中国産人工軽量粗骨材である。

細骨材は普通砂と人工軽量砂を使用した。また、表中の普通砂は表乾密度を示す。

表－２ 調合条件

目標気乾単位容積質量(t/m ³)	人工軽量粗骨材の種類	目標空気量(%)	スランプ(cm)	単位水量(kg/m ³)
1.2	L	5	21	155
1.4				
1.6	G	5	(練り上がり)	以下
1.8				

２．２ 調合条件

コンクリートの調合条件を表－２に示す。コンクリートの目標気乾単位容積質量を1.2～1.8 t/m³とし、水セメント比は32～46%、細骨材率は42～48%の範囲で練り混ぜ状態を見て調整した。

人工軽量粗骨材の種類はコンクリートの目標気乾単位容積質量1.2, 1.4t/m³にLを、同1.6, 1.8t/m³にはGを使用した。

目標空気量はすべての調合で5±1.5%とし、同スランプも練り上がりで21cmとした。また、単位水量は155kg/m³以下とした。

２．３ コンクリートの調合

コンクリートの調合を表－３に示す。調合記号の12C350は、12が気乾単位容積質量1.2t/m³、C350が単位セメント量350kg/m³を示している。

単位水量はそれぞれの目標気乾単位容積質量の水準で同一としているが、軽量粗骨材および同細骨材がほぼ絶乾状態なので、あらかじめ骨材の瞬間吸水量を単位水量に加えてコンクリートを練り混ぜているが、水セメント比の変化や強度等への影響は少ないものと考えられる。

なお表中の単位水量に瞬間吸水量は含まれていない。また、単位セメント量は目標気乾単位容積質量1.2, 1.4t/m³で350, 400, 450kg/m³とし、同1.6, 1.8t/m³で340, 390, 440kg/m³とした。

細骨材の普通砂とあるのは砕砂、陸砂で、超軽砂はガラス系、フライアッシュ系のものを使用している。普通砂および超軽砂はその増減によってコンクリートの気乾単位容積質量をコントロールしているが、1.8t/m³では普通砂のみの調合となっている。

粗骨材は目標気乾単位容積質量が同一水準で使用量を一定としているが、これは粗骨材量によるコンクリート強度への影響がなるべく小さくなるように配慮したものである。

高性能減水剤は単位セメント量×0.7～0.9%の範囲、空気量調整剤は3A～8A(1A=C×0.006%)の範囲で適宜使用とした。

２．４ フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの性質を表－４に示す。コンクリートの練り混ぜは100リットルの

表-3 コンクリートの調合表

調合記号	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)				
			水(W)	セメント(C)	細骨材(S)	細骨材(M)	粗骨材(絶乾)
12C350	41.4	48.6	145	350	222	188	282(L)
12C400	36.3	47.4	145	400	170	192	282(L)
12C450	32.2	46.2	145	450	113	196	281(L)
14C350	42.9	48.6	150	350	503	108	280(L)
14C400	37.5	47.4	150	400	448	110	279(L)
14C450	33.3	46.2	150	450	397	114	279(L)
16C340	44.1	48.0	150	340	490	50	457(G)
16C390	38.5	46.7	150	390	432	50	457(G)
16C440	34.1	45.5	150	440	371	50	457(G)
18C340	45.6	48.0	155	340	869	-	454(G)
18C390	39.7	46.7	155	390	825	-	454(G)
18C440	35.2	45.4	155	440	783	-	454(G)

強制二軸ミキサーを使用し、練り混ぜ時間は120秒とした。

フレッシュコンクリートの各測定は練り上がり直後とし、空気量の測定は重量法とした。

スランブは練り上がり時17～22.5cmの範囲であるが、練り上がり15分後のスランブロスが平均で約20%で、通常のコンクリートに比べスランブロスが大きい。この要因としては骨材L, G, Mなどの後吸水があげられる。また、写真-2にスランブの状態を示した。

フレッシュコンクリートの状態は単位セメント量が少ないほ

どワーカブルであるが、単位セメント量の大きな調合では粘性が大きくなり、仕上げ性などで

表-4 フレッシュコンクリートの性質

調合記号	スランブ(cm)	空気量(%)	生単容質(t/m ³)	状態
12C350	21.5	5.2	1.196	良好
12C400	22.5	4.6	1.205	良好
12C450	20.5	3.8	1.212	粘性大
14C350	20.5	5.6	1.392	良好
14C400	22.0	4.3	1.410	良好
14C450	22.5	3.3	1.425	粘性大
16C340	19.0	3.0	1.632	良好
16C390	18.0	3.8	1.620	粘性有り
16C440	20.5	3.4	1.625	粘性大
18C340	17.0	4.7	1.824	良好
18C390	17.0	4.2	1.841	良好
18C440	19.5	4.1	1.849	良好

劣る。これはこの種のコンクリートの特徴的なもので、400kg/m³以下が望ましいようである。

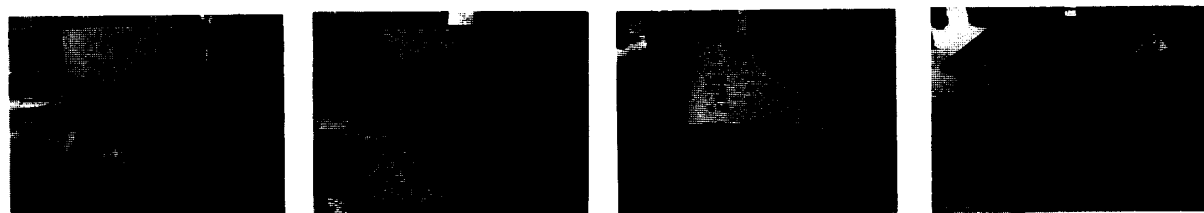


写真-2 スランブ試験

2. 5 硬化コンクリート

硬化コンクリートの強度試験に用いた供試体の寸法は圧縮強度、引張強度および静弾性係試験が $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 、曲げ強度、長さ変化（重量変化）試験が $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ のものを使用した。供試体の養生方法は目標気乾単位容積質量 $1.2, 1.4\text{t/m}^3$ では気中自然養生、同 $1.6, 1.8\text{t/m}^3$ では蒸気養生後気中養生とした。ただし、 $1.6, 1.8\text{t/m}^3$ の静弾性係数は標準養生とした。

2. 5. 1 圧縮強度

図-1に圧縮強度の発現推移を示す。初期強度（1日）では $21 \sim 46\text{N/mm}^2$ 、7日強度では $30 \sim 55\text{N/mm}^2$ 、28日強度では $33 \sim 61\text{N/mm}^2$ の強度発現が見られた。気乾単位容積質量 1.4t/m^3 以下では28日強度の伸びが小さく、同 1.6t/m^3 以上では伸びが大きくなっているが、これは粗骨材強度の差による影響が大きいと思われる。

2. 5. 2 単位容積質量

図-2に単位容積質量と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は単位容積質量の増大とともにほぼ比例的に増大しており相関が見られる。

また、単位容積質量 $1.2, 1.4, 1.6, 1.8\text{t/m}^3$ では最大でそれぞれ $38, 41, 58, 61\text{N/mm}^2$ の値が得られた。いずれの調合域でも 30N/mm^2 をこえており、一般P C aや場所打ち構造体コンクリートとしての適用を可能としている。特に単位容積質量 1.6t/m^3 をこえる調合は高強度コンクリートとしても十分な値である。

2. 5. 3 引張強度

図-3に引張強度と圧縮強度の関係を示す。引張強度も圧縮強度に比例して増大しており相関が見られる。単位容積質量 $1.2, 1.4, 1.6, 1.8\text{t/m}^3$ では最大でそれぞれ $2.45, 2.75, 3.23, 3.72\text{N/mm}^2$ の値が得られた。

また、圧縮強度に対して引張強度は約 $1/15$ 程度で普通コンクリートと比べやや小さい比率であることがわかる。

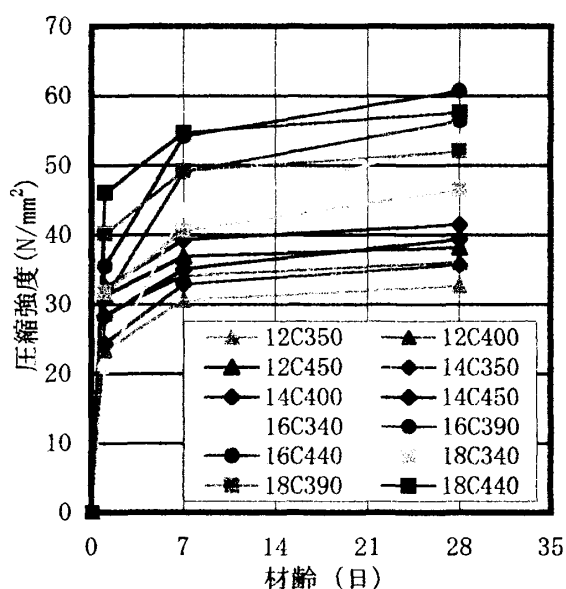


図-1 圧縮強度推移

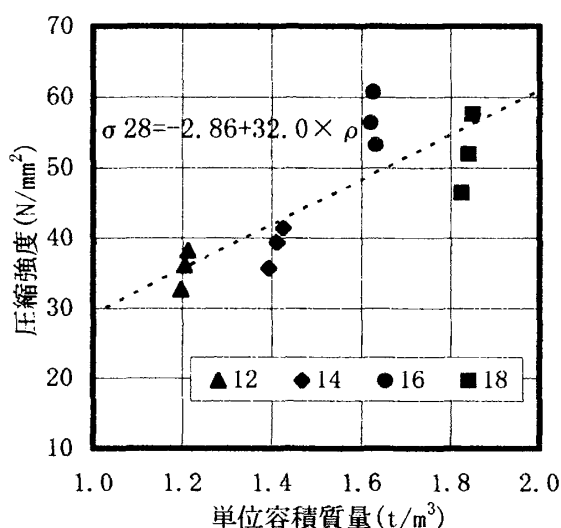


図-2 単位容積質量と圧縮強度

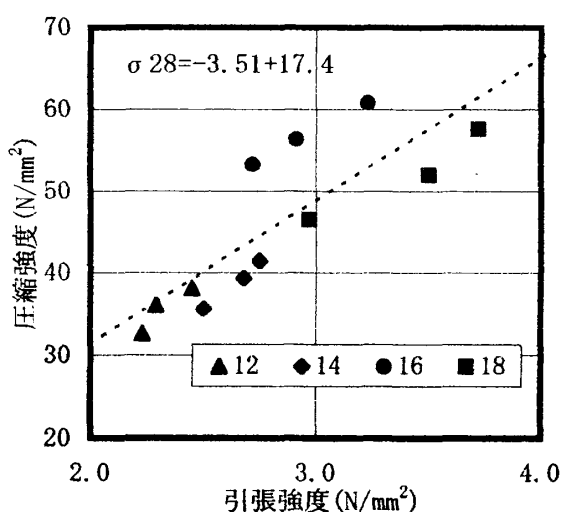


図-3 引張強度と圧縮強度

2. 5. 4 曲げ強度

図-4に曲げ強度と圧縮強度の関係を示す。

単位容積質量1.2, 1.4t/m³において, 曲げ強度は2.73~3.42N/mm²であり, 圧縮強度の差による曲げ強度の差はあまり見られない。

また, 圧縮強度に対して曲げ強度は約1/12程度で普通コンクリートと比べやや小さい。

2. 5. 5 静弾性係数

図-5に静弾性係数と圧縮強度の関係を示す。

静弾性係数は圧縮強度の増大とともにほぼ比例的に増大しており相関が見られ、静弾性係数は単位容積質量1.2, 1.4, 1.6, 1.8t/m³においてそれぞれ 1.3, 1.5, 2.3, 2.6×10⁴N/mm²となっている。(16と18は標準養生)

また, 応力-ひずみ曲線を図-6に示した。単位容積質量 1.2, 1.4t/m³の領域と1.6, 1.8t/m³の領域で二分されるように差が大きくなっているのは, 軽量粗骨材の強度の違いや、普通砂の使用量に差がでるためと考えられる。

また, ひずみ曲線はほぼ直線的であるが, 参考としてのせた普通コンクリート(NC)と比較した場合, ややじん性が低いことが分かる。

2. 5. 6 コンクリート断面

写真-3に本軽量コンクリートの切断面を示す。12, 14, 16, 18などは単位容積質量を表している。

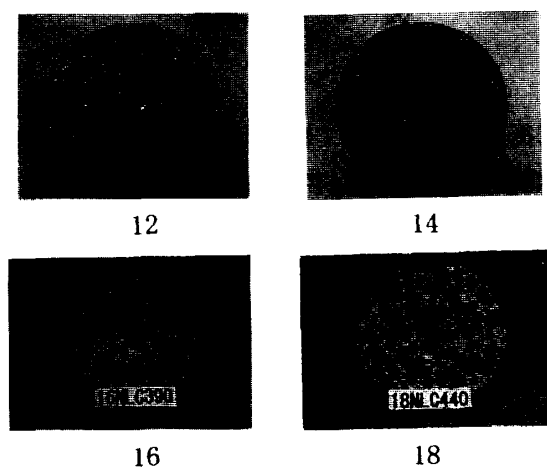


写真-3 コンクリートの切断面

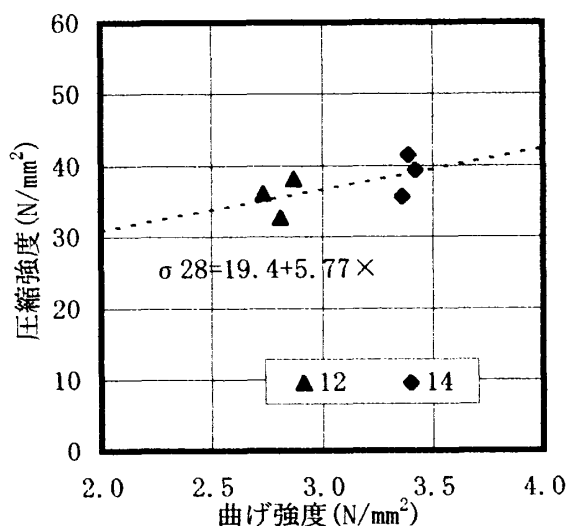


図-4 曲げ強度と圧縮強度

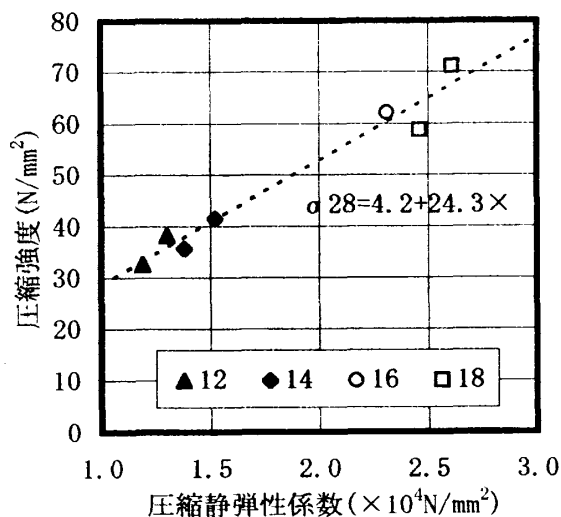


図-5 静弾性係数と圧縮強度

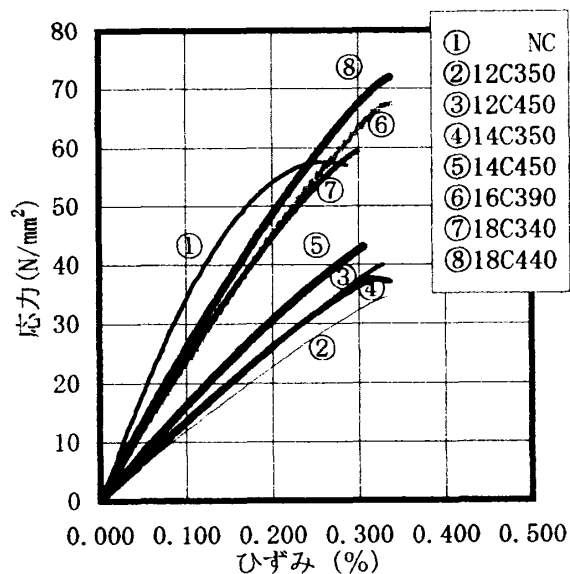


図-6 ひずみ-応力曲線

2. 5. 6 長さ変化・重量変化

図-7に長さ変化試験の結果を示す。長さ変化試験は恒温恒湿室でコンパレータ（写真-4）を使用した。本編では材齢26週までのものを示しており、コンクリートの単位容積質量1.2, 1.4t/m³の2水準とした。

また、参考として真珠岩系粗骨材を用いた超軽量コンクリートB¹⁾(12B400, 14B400)をのせた。

材齢26週（182日）における長さ変化率は0.051~0.068%で、同レベルの超軽量コンクリートBとほぼ同程度であることがわかった。

長さ変化試験に用いた供試体で重量変化も同時に試験しており、その結果を図-8に示す。

同材齢における重量変化率は1.3~1.5%で、比較用のBよりもやや小さい値となっている。

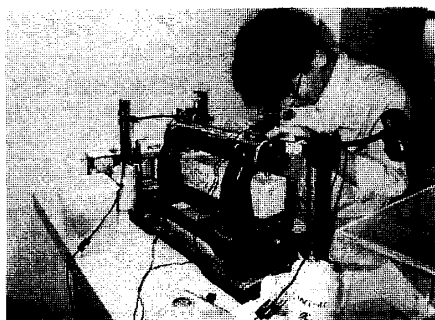


写真-4 長さ変化試験

3. まとめ

中国黄河流域の超微粉な自然堆積物を原料として加工焼成された人工軽量骨材は、①骨材形状が角張っている（転がらないので傾斜コンベアー搬送が容易で安全性にも良い）②低吸水性である③骨材強度が高い④コンクリート性状が良い（③の効果）⑤コンクリート諸強度が高い⑥ローコスト化が可能である（原料の微粉碎などのコストが低い）などの特徴を持っており、これまでの国内生産では得られていない利点が多いものと考えられる。

これらの利点を生かして、軽量コンクリートの用途開発に弾みがつけば、建造物の設計、建物ユーザーならびに各種生産業などに新たな素材提供が可能になると考えられる。

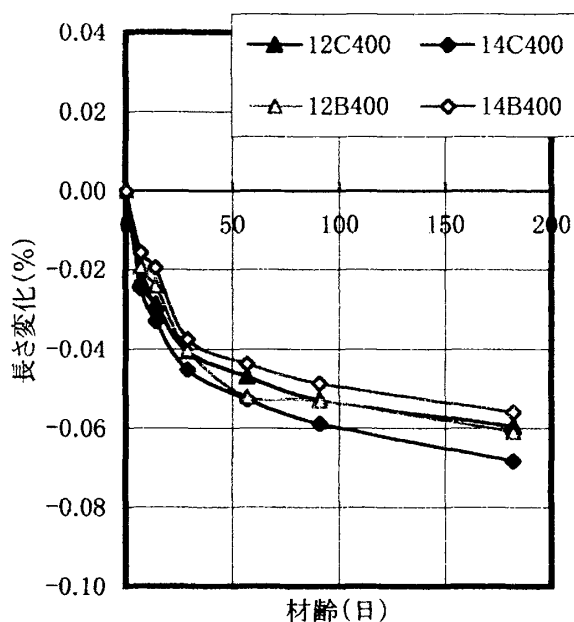


図-7 長さ変化

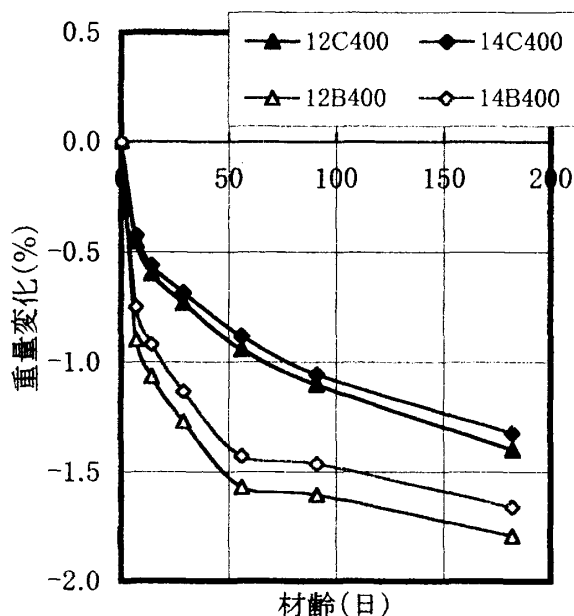


図-8 重量変化

今後の進め方としては、コンクリートの耐久性試験および構造部材実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 九々正武ほか：超軽量骨材（構造用人工軽量骨材）を使用した軽量コンクリートの物性、コンクリート工学、軽量コンクリートの性能の多様化と利用の拡大に関するシンポジウム論文集、(2), pp. 5-10, 2000. 8