論文　水中不分離性軽量コンクリートの配合選定とモデル流動実験

新村　亮*1・服部　鋭啓*2・三浦　律彦*3・十河　茂幸*4

要旨：軽量骨材を使用した水中不分離性コンクリートの流動中における骨材の分離・浮上りによるコンクリートの品質低下，水質の汚濁を防止するため，室内配合選定試験により適切な骨材の組み合わせ，水中不分離性混和剤添加量の効果等の評価を行った。さらに水中モデル流動実験を行い，流動状況，材料分離，強度変動等の測定を行い，人工軽量細骨材を使用し，人工軽量粗骨材とモルタルの密度差を小さくすることにより，品質の安定したコンクリートが得られることが明らかとなった。

キーワード：水中不分離性コンクリート，人工軽量骨材，材料分離，流動性

1.　はじめに

軟弱海底地盤上にコンクリート構造物を構築する際に，地盤改良を軽減するため軽量骨材を使用した水中不分離性コンクリートを使用することは有効な対策と考えられる [1)]。しかし，軽量骨材を使用した水中不分離性コンクリートを水中で流動させた場合，モルタルの粘性が高いにもかかわらず，人工軽量粗骨材がモルタルよりも軽いため，コンクリート中で粗骨材が分離する傾向がある。さらに，水中へ粗骨材が浮上することにより，水を汚濁する可能性がある。また，造粒型人工骨材では表面が平滑なために，より分離しやすい傾向があると考えられる。

本研究においては初めに室内試験において種々の骨材の組み合わせ，水中不分離性混和剤添加量による人工軽量粗骨材の分離程度の把握を行い，分離の少ない配合を選定した。その上で選定された配合に対して流動距離 3m の水中モデル流動実験を行い，流動性状，骨材の分離性状，強度の変動を測定し，品質が安定していることを確認した。

2.　使用材料・配合

2.1　使用材料

本研究で使用した材料を**表－1，2** に示す。軽量細骨材としては膨張頁岩を原料とした人工骨材の他にパーライトを使用した。人工軽量粗骨材としては真珠岩，膨張頁岩，石炭灰を原料とした密度の異なる３種類の骨材を使用し，絶乾骨材を 24 時間吸水させたものを用いた。

表－1　使用材料

材料	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント
水中不分離性混和剤	セルロースエーテル系
高性能減水剤	トリアジン系

2.2　配合

水中不分離性コンクリートの基本配合を**表－3** に示す。細・粗骨材容積は一定とし，スランプフローが所定の値になる様に高性能減水剤添加量を調整した。

3.　配合選定試験

3.1　試験目的

水中不分離性コンクリートにおいて種々の骨材，軽量骨材を組み合わせるとともに，水中

*1 (株)大林組　土木技術本部技術第六部課長　工修　(正会員)
*2 (株)大林組　本店甲賀土山ＩＣ工事事務所　工修　(正会員)
*3 (株)大林組　技術研究所土木材料研究室主任研究員　工修　(正会員)
*4 (株)大林組　技術研究所土木材料研究室室長　工博　(正会員)

表－２　使用骨材一覧表

	記号	骨材種類	原料	吸水率 (%)	表乾密度 (t/m³)	絶乾密度 (t/m³)	粗粒率
細骨材	NS	陸砂	－	1.53	2.60	2.55	2.82
	LS	人工軽量骨材	膨張頁岩	14.50	1.89	1.65	2.70
	PS	パーライト	－	13.60	1.34	1.18	2.49
粗骨材	NG	砕石	－	0.78	2.67	2.65	6.61
	LG	人工軽量骨材 L	真珠岩	2.10	1.20	1.18	6.44
	MG	人工軽量骨材 M	膨張頁岩	28.0	1.63	1.27	6.38
	HG	人工軽量骨材 H	石炭灰	2.54	1.74	1.70	6.45

表－３　配合選定試験基本配合

スランプフロー (cm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m³)		単位量容積(*l*/m³)	
				水 W	セメント C	細骨材 s	粗骨材 g
55	50	40	2.0	220	440	240	360

不分離性混和剤の添加量を変化させて，粗骨材の分離の程度を室内試験レベルで測定し，粗骨材の分離の少ない配合を選定した。

3.2　試験方法

(1)　試験ケース

試験ケースを**表－４**に示す。初めの７ケースは骨材の組合わせを変えたものであり，最後の２ケースはケース NL に対して水中不分離性混和剤添加量を変えたものである。

表－４　試験ケース

ケース	細骨材種類	粗骨材種類	水中不分離性混和剤添加量 (kg/m³)	設計コンクリート単位容積質量(t/m³)
NL	NS	LG	2.4	1.72
NM	NS	MG	2.4	1.87
NH	NS	HG	2.4	1.91
LL	LS	LG	2.4	1.54
LM	LS	MG	2.4	1.69
LH	LS	HG	2.4	1.73
PL	PS	LG	2.4	1.41
NL1	NS	LG	2.7	1.72
NL2	NS	LG	3.0	1.72

(2)　コンクリート製造方法

コンクリートの製造には 60*l* 二軸強制練ミキサを使用し，セメント，骨材，水中不分離性混和剤を投入後，空練りを 30 秒間行い，水・高性能減水剤投入後 120 秒間練混ぜを行った。

(3)　試験方法

コンクリートの試験としては

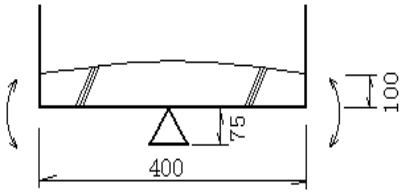
・ スランプフロー(JSCE-F503-1990)
・ 空気量（JIS A1118-1975）
・ 遥動分離試験
・ 振動分離試験

を行った。

２分離試験の試験方法は次の通りである。

a)　遥動分離試験

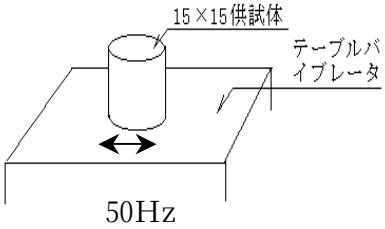
長さ 400mm×幅 300mm×高さ 300mm の容器に 12*l* のコンクリートを投入し，中心に高さ 75mm の支承を置き，シーソー状に 30 秒間隔で 10 回コンクリートを遥動し，コンクリートの流動状況を観察するとともに，硬化後に切断してコンクリート中の骨材の分布を観察する。



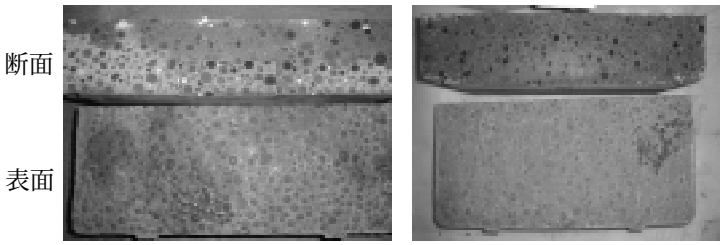
図－１　遥動分離試験要領

b)　**振動分離試験**

φ150mm×h150mm の円柱鋼製型枠にコンクリートを充填し，50Hz テーブルバイブレータで 2 分間振動する。最上部・最下部の 200cm³ のコンクリートを採取し，単位容積質量を測定する。



図－２　振動分離試験要領



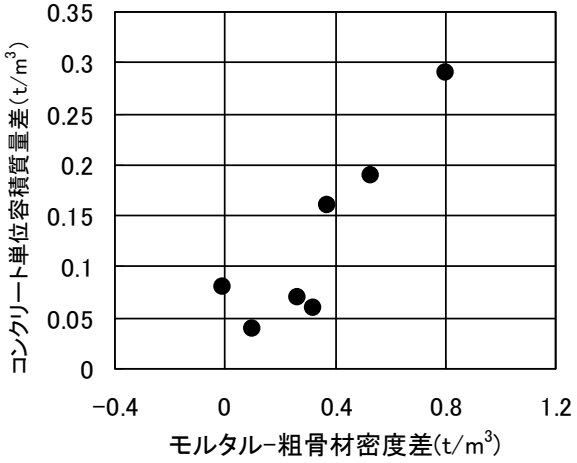
写真－１　遥動分離試験試験体状況

3.3　試験結果

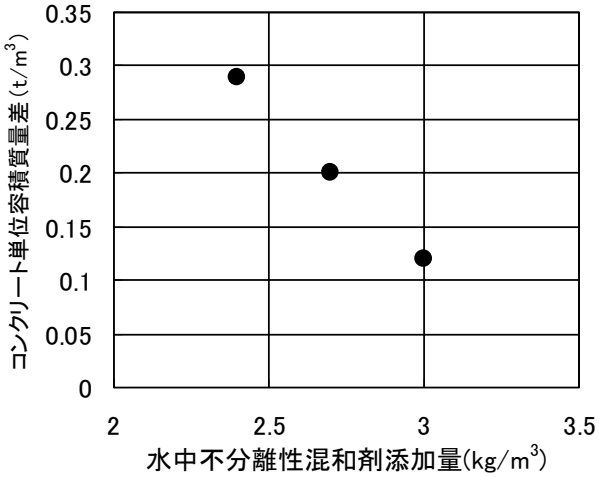
試験結果を**表－５**に示す。

遥動分離度試験では粗骨材の密度の小さいケース NL，LL でコンクリート表面への粗骨材の浮きが目立った。一方，粗骨材とモルタルの密度差の小さいケース LM, LH では分離が少なかった。また，分離の多いケース NL から水中不分離性混和剤の添加量を増やしたケース NL1, NL2 では分離は少なくなる傾向が認められた。ケース NM, LH の粗骨材分離状況を**写真－１**に示す。

また，振動分離度試験での上下のコンクリート単位容積質量の差とモルタル－粗骨材の密度差，水中不分離性混和剤の添加量の関係を**図－３，４**に示す。モルタル－粗骨材の密度差が小さいほど，上下のコンクリートの単位容積質量の差が小さくなる傾向が認められる。また，水中不分離性混和剤の添加量が多いほど，コンクリートの単位容積質量差が小さくなる傾向も認められる。



図－３　振動分離度試験結果(1)



図－４　振動分離度試験結果(2)

表－５　配合選定試験結果

ケース	粗骨材表乾密度	設計モルタル密度(t/m³)	遥動分離試験観察結果	振動分離試験コンクリート単位容積質量差(t/m³)
NL	1.20	2.00	骨材が表面に浮く	0.29
NM	1.63	2.00	骨材が表面にやや浮く	0.16
NH	1.74	2.00	骨材が表面にやや浮く	0.07
LL	1.20	1.73	骨材が表面に浮く	0.19
LM	1.63	1.73	分離少ない	0.04
LH	1.74	1.73	分離少ない	0.08
PL	1.20	1.52	骨材が表面にやや浮く	0.06
NL1	1.20	2.00	ケース１に比べ分離少ない	0.20
NL2	1.20	2.00	ケース１に比べ分離少ない	0.12

4. モデル流動試験

4.1 試験目的

配合選定試験で選定した配合，比較的分離の多い配合，及び，普通骨材を使用した配合を実際に水中を流動させ，流動性状，骨材分離，コンクリートの品質変動等の確認を行う。

4.2 試験方法

試験ケースを**表－6** に示す。ケース LM，LH は配合選定試験で分離の少なかった配合，ケース NM は分離が比較的多かった配合，ケース NN は普通骨材を使用した配合である。なお，この実験は骨材－モルタルの密度差に着目し，水中不分離性混和剤添加量は 2.4 kg/m³ 一定とした。

モデル水槽の形状を**図－5** に示す。平面形状は扇形とし，流動状況を観察するため，側面および先端部の壁にはアクリル板を用いた。φ20cm，高さ 1.0m のトレミー管を妻わくの短辺側に立て打設速度 60*l*／分でコンクリートを打設した。トレミー管の下端は，コンクリートの中に 10cm 程度挿入し水が逆流しない様にした。総打設量は 600*l* とし，最終的なコンクリートの厚さが 20cm 以上となるようにした。また，強度試験用の供試体（φ100×h200mm，供試体気中・水中作製，試験材齢 28 日）を作製した。

硬化後にはコンクリートを切断し，材料分離の程度を観察した。また，コア採取により流動方向での圧縮強度，静弾性係数の変動を測定した。

4.3 試験結果

(1) コンクリートの品質試験結果

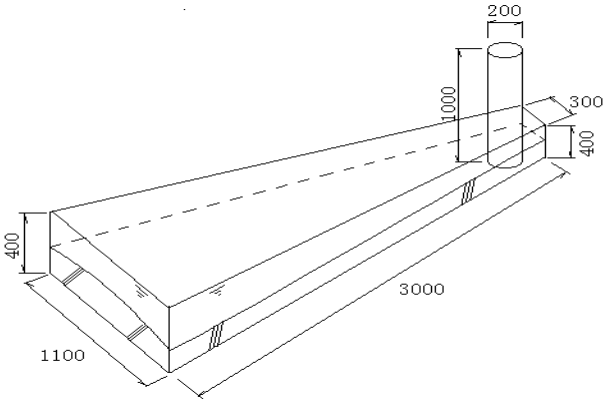
コンクリートの品質試験結果を**表－7** に示す。気中作製供試体の圧縮強度はどの配合もほぼ同一であったが，軽量骨材を使用した配合では気中作製供試体に比べ水中作製供試体の強度低下が大きい結果であった。コンクリートの単位容積質量の小さなケース LM では特にこの傾向が顕著であり，コンクリートの単位容積質量が小さいと，水中を自由落下させることによりコンクリートに内部欠陥が生じ易くなると考えられる。なお，静弾性係数，単位容積質量は水中・気中作製供試体で大きな差は見られなかった。

(2) コンクリートの流動状況

流動状況を観察した結果，ケース NM では流動距離 1.5m 付近から軽量粗骨材がコンクリート表面に浮き上がり，転がり落ちて先端に集まる傾向が見られた。ケース LM，LH では浮き上る軽量粗骨材量はケース NM に比べ少なかった。また，ケース LM，LH では水が濁ることはほとんど無かったが，ケース NM ではモルタル分が

表－6 試験ケース

ケース	細骨材種類	粗骨材種類	設計コンクリート単位容積質量 (t/m³)
LM	LS	MG	1.69
LH	LS	HG	1.73
NM	NS	MG	1.87
NN	NS	NG	2.08



図－5 モデル水槽形状図

表－7 コンクリート品質試験結果（圧縮強度欄カッコ内は水中／気中作成供試体比）

ケース	スランプフロー(cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm²)		静弾性係数 (×10⁴N/mm²)		単位容積質量 (t/m³)	
			水中作製	気中作製	水中作製	気中作製	水中作製	気中作製
LM	56.0	3.5	29.1 (0.81)	35.9	1.34	1.36	1.76	1.73
LH	57.0	3.7	32.3 (0.85)	38.0	1.87	1.96	1.85	1.86
NM	55.0	3.1	32.9 (0.87)	37.9	1.56	1.67	1.93	1.93
NN	56.0	2.6	37.0 (0.96)	38.6	2.38	2.38	2.34	2.34

先端に集まり，これが妻枠に達した時点で飛散し，水がやや濁る傾向が見られた。

コンクリートの最終天端形状を**図－６**に示す。粗骨材 MG を使用したケース LM，NM は流動勾配がそれぞれ 4.3・5.0%であったのに対し, ケース LH, NN の流動勾配は 1%以下であり，流動性により優れていた。なお, ケース NM は単位容積質量がケース LM, LH に比べて大きいにもかかわらず, 流動途中で段差が生じた。これは，モルタルの保水性が悪い上に流動中に粗骨材が吸水し流動性が低下したものと考えられる。

(3)　硬化試験体の表面性状

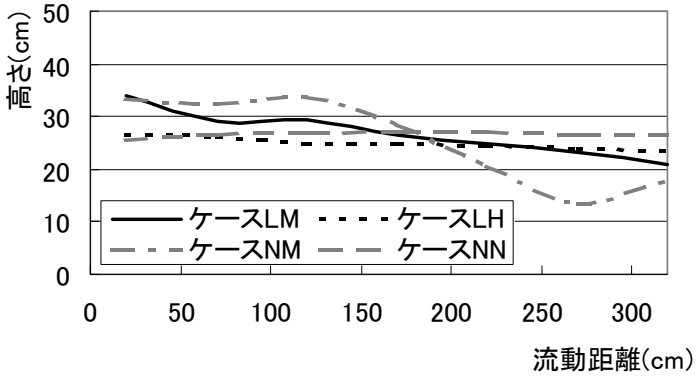
硬化後のケース LH, NM の試験体の状況を**写真－２**に示す。ケース NM では流動距離 1.5m 以遠で骨材が表面に浮上り，コンクリート表面が剥離している状況が観察され，表面に多量のレイタンスが堆積していた。また，ケース LM でもケース NM より少ないが，骨材が浮いている状況が見られた。ケース LH ではモルタルよりも骨材密度が大きいため，表面に浮いている粗骨材量が非常に少なく，流動距離が長くなるほど表面の粗骨材量は減少した。また，表面に堆積するレイタンスの量がケース NM に比べて非常に少なかった。

(4)　硬化試験体の断面性状

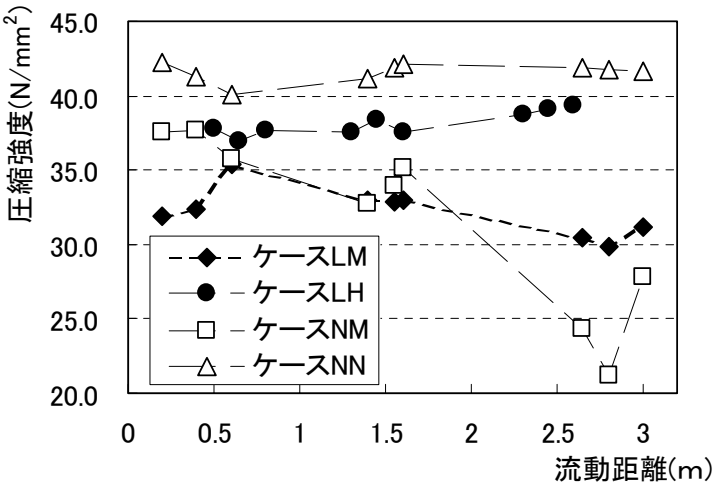
ケース NM では 0.8～2.2m 付近で上部の所々に粗骨材が疎な部分が見られた。これは，粗骨材がモルタルよりも軽いため浮き出したためと考えられる。ケース LM でも粗骨材がモルタルよりも軽いため，コンクリートから浮き出し，表面に粗骨材が少ない層が見られたが，粗骨材の分布はほぼ一様であった。ケース LH，NN では表面で骨材が少ない層が見られ，下流に行く程粗骨材量が少なくなる傾向が見られた。これは粗骨材がモルタルよりも重いため粗骨材が逆に沈降したためと考えられる。

(5)　強度分布

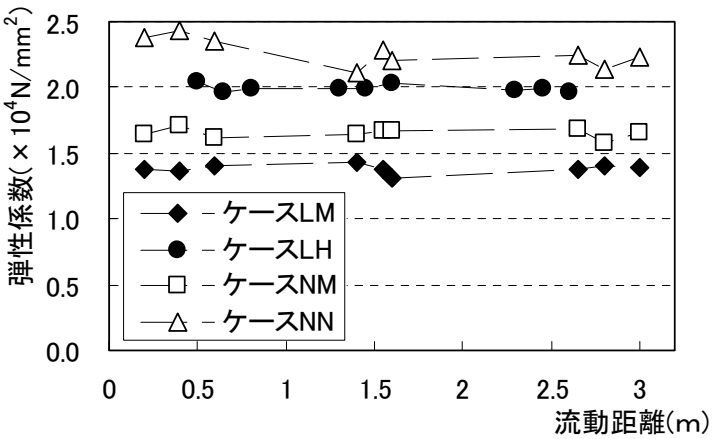
コアの圧縮強度と静弾性係数の分布を**図－７，８**に示す。コアの圧縮強度は水中供試体の強度よりも高く，ケース LH では気中供試体の強度と同程度である。これは，トレミー管をコンクリート中に埋込んで打設したため，軽量骨材を使用した配合であっても，水を巻き込むことなく打設できたためと考えられる。流動に伴う強度低下はケース NM で著しく，流動性の低下



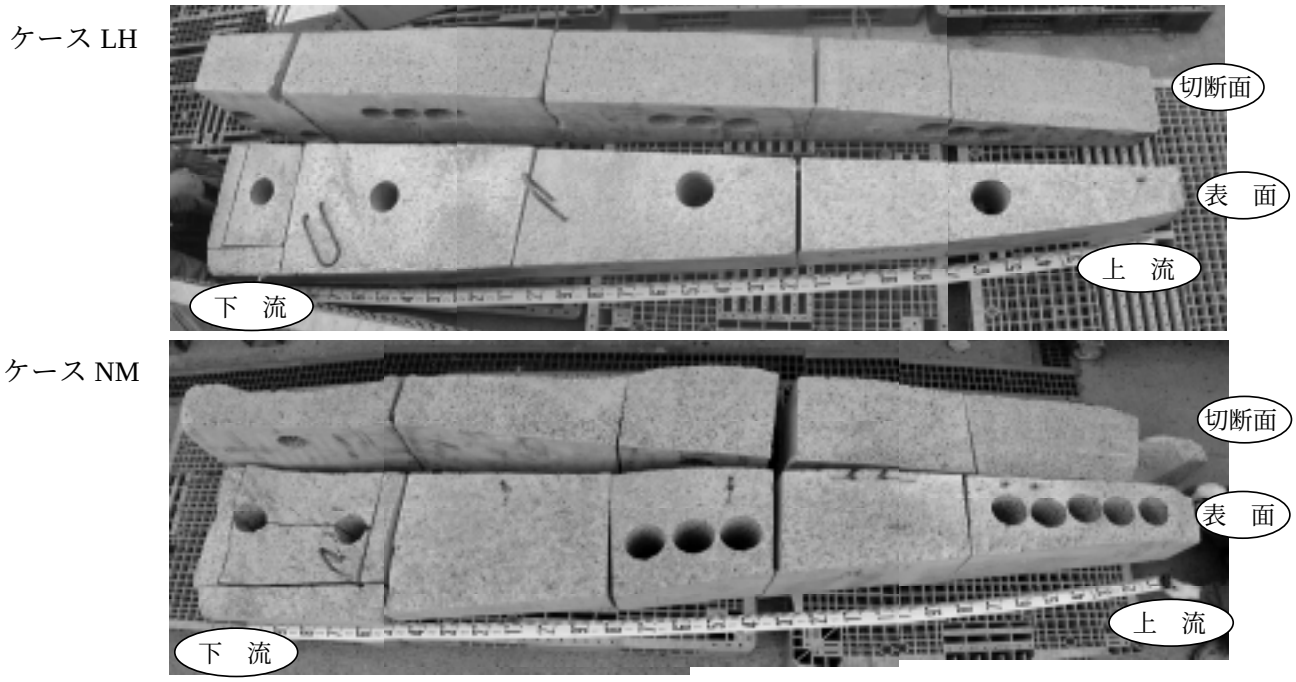
図－６　モデル流動試験コンクリート表面形状



図－７　モデル流動試験コア圧縮強度分布



図－８　モデル流動試験コア弾性係数分布



写真－２　モデル流動試験体

に伴い品質も変化したものと考えられる。

コアの静弾性係数は水中・気中供試体と同程度であり，流動に伴う低下も見られなかった。

5.　まとめ

本研究で明らかとなったことは次の通りである。

(1) 水中不分離性軽量コンクリートでは骨材が分離・浮き上ることにより，コンクリートの品質の変動，水質の汚濁が問題となる。室内試験レベルで軽量粗骨材の分離を試験する方法として遥動分離試験，振動分離試験を考案し，粗骨材の分離の程度を評価することができた。

(2) 上記の試験方法によると，人工軽量細骨材を使用してモルタルの密度を小さくし，人工軽量粗骨材との密度差を小さくする方法と水中不分離性混和剤の添加量を増やしてモルタルの粘性を上げる方法が粗骨材の分離防止に有効であることが判明した。

(3) 配合選定試験で選定された２配合と分離が比較的多いと考えられる１配合，普通骨材を使用した配合を使って，流動距離 3m のモデル流動試験を行い，流動性状，粗骨材の分離，コンクリートの品質変動の確認を行った。膨張頁岩を原料とした人工軽量細骨材と石炭灰を原料とした人工粗量細骨材を使用し，モルタルと粗骨材の密度を同程度とした配合は，粗骨材の分離が見られず，流動性も良好であった。また，この配合では流動に伴う圧縮強度の低下も見られず，表面のレイタンスの堆積も非常に少なかった。

(4) 一方，普通細骨材を使用し膨張頁岩を原料とした人工軽量粗骨材を使用し，モルタルと粗骨材の密度差が 0.3 近くある配合は，粗骨材の浮き上がり・分離が見られ，骨材の吸水によると考えられる流動性の低下が流動中に生じ，さらに流動に伴う圧縮強度の低下も見られた。

参考文献

1) 中原康：基礎工における水中不分離性コンクリートの現状，基礎工，Vol.26，No.10，pp.17－20，1998.10