

製造工場の異なる生コンクリートを混用した場合の硬化特性

○山内和宏*1 大村久司*2 吉岡八州満*3 利川隆士*4

要旨：製造工場の異なる生コンクリートを同一工区で同一日に打重ねた場合の硬化コンクリートの性状を評価することを目的として試し練りにより実験を行った。実験の結果、滋賀県生コンクリート工業組合員の工場が製造した生コンクリートを混用しても、硬化コンクリートの品質に問題が無いことがわかった。プラントの急な故障や災害等により出荷継続が困難になった場合、他の製造工場による代替納入が可能であることを確認した。

キーワード：打重ね、代替納入、混用、圧縮強度、静弾性係数、長さ変化

1. はじめに

災害や故障等によりコンクリート打設途中に生コンクリート製造工場（以下「工場」という）が出荷できなくなった場合、それまでに打設した部分を廃棄し後日再打設するということがある。一度このようなことが起これば、工場は莫大な損害賠償責任を負う可能性がある。しかし、工場が復旧できない場合でも打設を中止するのではなく、他の工場からの生コンクリートを代替納入すれば、工場はこのリスクを回避することができ、施工者にとっても工期の遅延が生じず費用負担の低減につながる。また、滋賀県生コンクリート工業組合では組合員の納入可能エリアが重複しており、災害や故障発生時等に代替納入による相互扶助が可能である。

共同販売事業を行う協同組合内においては、一つの構造物に複数の工場が生コンクリートを納入することがある。建築工事においては工区別に工場が割り振られる。土木工事においても同様であるが、一体性を重視する巨大な水槽のような構造物では、複数の工場の生コンクリートが同じ日に同一打込み工区に納入されることがある。この納入方法を「混用」と呼び、打ち重ねられる生コンクリートが、上下層（左右層）の異なる製造工場になる状態もこれに含むこととする。本論文では混用を「打重ねが可能な時間内に製造工場の異なる生コンクリートを同一打込み工区に打ちこむこと」と定義する。

建築工事においては、JASS5¹⁾6.2.fのとおり混用は基本的に認められていない。その理由についてJASS5 解説では『工場の品質責任の所在を明確にすることが困難となる』としている。同書では混用による品質や性能劣化を理由としてはいないが、滋賀県生コンクリート工業組合では災害や故障等の有事の際に代替納入による混用を想定し、予め試し練りを行い硬化コンクリートの品質について確認しておくことにした。

2. 実験の概要

この混用に関する実験は、工業組合員 18 工場を代替納入が可能な 24 の組合せについて 11 回に分けて行った。二つの工場のそれぞれの生コンクリートとそれらを混ぜ合わせたものについて、練り

*1 灰孝小野田レミコン株式会社

*2 高月生コンクリート株式会社

*3 大圭コンクリート株式会社

*4 滋賀県生コンクリート工業組合

上がり時の性状と硬化後の圧縮強度、静弾性係数、長さ変化について比較した。

2. 1 混用する工場の組み合わせ

JASS5 及びコンクリート標準示方書²⁾に定められている生コンクリートの打重ね許容時間内に代替納入が可能である工場を条件にし、一つの工場に対し二つ以上の工場を組み合わせることとした。

2. 2 配合と使用材料

混用を行う際の品質保証データとして引用されることを考慮し、試し練りの配合は AE 減水剤を使用する 30-18-20N の各工場の標準配合とした。

各工場の使用材料を表-1 に示す。試し練りには、各工場のセメント、骨材及び混和剤を使用し、水は各工場が材料を持ち込んだ試し練り実施工場の地下水又は上水道水を使用した。なお、全ての工場の使用骨材は、JIS A 5308 附属書 A.3 アルカリシリカ反応性による区分 A のものであった。

表-1 各工場の使用材料

工場番号	セメント	細骨材 1	細骨材 2	粗骨材 1	粗骨材 1	混和剤
1	A 社	砂 安曇川産	砂 安曇川産	碎石 1305 今津産	碎石 2010 今津産	F 社 AE 減水剤 (高機能型)
2	B 社	砂 牧田川産	砕砂 伊吹山産	砂利 2010 牧田川産	砂利 1505 牧田川産	G 社 AE 減水剤 (高機能型)
3	A 社	砂 愛知川産	砕砂 伊吹山産	砂利 2005 愛知川産	碎石 2005 伊吹山産	F 社 AE 減水剤
4	C 社	砂 愛知川産	砕砂 多賀産	碎石 1305 多賀産	碎石 2013 多賀産	F 社 AE 減水剤 (高機能型)
5	A 社	砂 愛知川産	砕砂 愛知川産	砂利 2005 愛知川産	—	G 社 AE 減水剤
6	A 社	砂 愛知川産	砕砂 愛知川産	砂利 2005 愛知川産	—	F 社 AE 減水剤
7	B 社	砂 信楽産	—	碎石 1505 柘植産	碎石 2010 柘植産	F 社 AE 減水剤 (高機能型)
8	A 社	砕砂 土山産	砕砂 多賀産	碎石 1505 土山産	碎石 2010 土山産	F 社 AE 減水剤 (高機能型)
9	A 社	砂 伊賀産	—	碎石 2010 土山産	碎石 1505 土山産	F 社 AE 減水剤 (高機能型)
10	A 社	砂 愛知川産	砕砂 多賀産	碎石 2013 多賀産	碎石 1305 多賀産	H 社 AE 減水剤 (高機能型)
11	A 社	砕砂 茨木産	砕砂 伊吹産	碎石 1505 土山産	碎石 2010 土山産	H 社 AE 減水剤 (高機能型)
12	D 社	砕砂 多賀産	砕砂 宇治産	碎石 1505 宇治産	碎石 2010 宇治産	G 社 AE 減水剤 (高機能型)
13	B 社	砂 城陽産	砂 城陽産	碎石 1305 土山産	碎石 2010 土山産	G 社 AE 減水剤 (高機能型)
14	C 社	砂 城陽産	砕砂 宇治産	碎石 2005 宇治産	—	F 社 AE 減水剤 (高機能型)
15	B 社	砂 竜王産	砕砂 荒張産	採石 1305 荒張産	碎石 2010 荒張産	I 社 AE 減水剤 (高機能型)
16	A 社	砂 安曇川産	砕砂 伊吹山産	砂利 2005 安曇川産	碎石 2005 今津産	G 社 AE 減水剤 (高機能型)
17	C 社	砂 関津産	砂 愛知川産	碎石 1305 多賀産	碎石 2013 多賀産	G 社 AE 減水剤 (高機能型)
18	E 社	砕砂 伊吹山産	砕砂 荒張産	碎石 1505 石山産	碎石 2010 荒張産	F 社 AE 減水剤 (高機能型)

2. 3 供試体の作製方法³⁾

圧縮強度・静弾性係数試験用は直径 100mm 高さ 200mm の円柱供試体とし、長さ変化測定用は縦横 100mm 長さ 400mm の角柱供試体とした。圧縮強度試験用供試体は、A 工場、B 工場、A・B 工場を容積割合 50 : 50 で混合したもの（以下「混合した供試体」という）、A・B 工場を上下に容積割合 50 : 50 で充填したもの（以下「上下の供試体」という）、A・B 工場を左右に容積割合 50 : 50 で充填したもの（以下「左右の供試体」という）を作製した。（図-1）

静弾性係数試験と長さ変化測定に用いる供試体は、A 工場、B 工場、A・B 工場を容積割合 50 : 50 で混合したものとした。

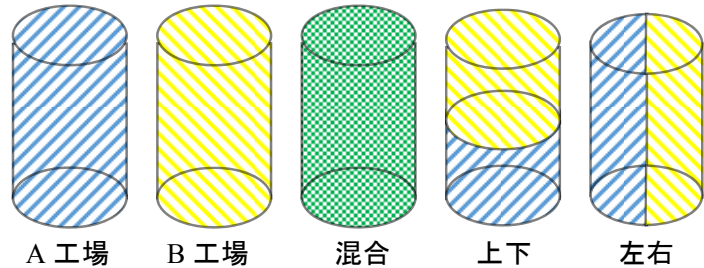


図-1 円柱供試体の作製パターン

2. 4 試し練りの方法と実験の流れ

各工場の材料を試し練り実施工場に持ち込み、その工場の試し練りミキサを使用した。練混ぜ時間と材料投入順序は、試し練り実施工場の方法で行った。

供試体数が多いので、一つの工場につき 2 バッチ練ることとし、各バッチの混和剤使用量は変更しないこととした。

試し練りは、上下の供試体の下層側の試料の工場を A、上層側を B として次の手順で行った。

- ① A と B それぞれ 1 バッチ目を練り、練上りの性状を確認した後、A・B それぞれの圧縮強度試験と静弾性係数試験の供試体、圧縮強度試験の上下の供試体（1 層目が A、2 層目が B）及び左右の供試体（中央に仕切り板を入れて A・B とも 2 層に分けて打込み後仕切り板を除去）を採取した。なお、初期に行った実験の 4 通りの組合せ（表-3 試験番号 1~4）については、左右の供試体を採取していない。
- ② A の 2 バッチ目を練り、練上りの性状を確認後、長さ変化測定用の供試体を採取した。残ったコンクリートは、最後に B のものと混合するので別の容器に移しておいた。
- ③ B の 2 バッチ目を練り、練上りの性状を確認後、A と同様に供試体を採取した。
- ④ 最後に A と B の残ったコンクリートを 50 : 50 の容積割合で試し練りミキサに戻し、30 秒間攪拌し混合した。この混合したコンクリートについても練上りの性状を確認後、圧縮強度試験、静弾性係数試験及び長さ変化測定の供試体を採取した。
- ⑤ 圧縮強度試験及び静弾性係数試験の供試体は標準養生を行い材齢 28 日で試験した。長さ変化測定は、JIS A 1129-2 により 26 週まで測定を行った。

3. 実験の結果

3. 1 フレッシュコンクリートの性状

練上がり時のコンクリート試験結果を表-2 に示す。混合した全てのコンクリートで急結や分離などの異常は見られなかった。

スランプは、A・B 工

表-2 練上り時の試験結果

	スランプ(cm)			空気量(%)		
	A・Bの 平均値	AとB を混合	混合/平均値	A・Bの 平均値	AとB を混合	混合/平均値
平均	19.2	18.0	0.94	4.6	4.9	1.06
標準偏差	0.59	1.33	0.06	0.39	0.65	0.10
変動係数(%)	3.1	7.4	5.9	8.6	13.3	9.2
最大値	20.3	20.0	1.01	5.4	6.1	1.29
最小値	18.0	14.5	0.81	3.9	3.5	0.88

場のコンクリートを混合すると、総じて二つの工場の値の中間値以下となった。混合後のスランプがかなり小さくなった組み合わせもあるが、これは練上り時のスランプ値が目標値より小さかったことと、Aのコンクリートを最後に混合するまで20分程度静置していたことによるスランプロスが原因と推測される。

空気量については、混合後に増加する傾向が見られた。これは再攪拌を30秒行ったことにより、エントラップトエアが混入したものと推測される。

コンクリート温度は、混合する前と後ではほとんど変化がなく19～25℃であり平均は22℃だった。

3.2 硬化コンクリートの品質

圧縮強度試験、静弾性係数試験及び長さ変化測定の結果を表-3及び図-2～図-6に示す。各項目についてA工場とB工場の結果の平均値（以下、「A・Bの平均値」という）に対する混合した供試体の結果の比（混合/平均値）を求めた。圧縮強度については、A・Bの平均値に対する上下の供試体の結果の比（上下/平均値）及び左右の供試体の結果（左右）の比（左右/平均値）も求めた。

表-3 圧縮強度、静弾性係数及び長さ変化測定結果

試験番号	工場の 組合せ (A-B)	圧縮強度(28d) : N/mm ²						静弾性係数 : N/mm ²			長さ変化率 ×10 ⁶			
		A・Bの平均値	AとBを混合	混合/平均値	上下	上下/平均値	左右	左右/平均値	A・Bの平均値	AとBを混合	混合/平均値	A・Bの平均値	AとBを混合	混合/平均値
1	1-2	44.2	43.4	0.98	44.1	1.00			30.7	30.0	0.98	776	744	0.96
2	3-2	43.2	43.9	1.02	42.6	0.99			31.1	30.5	0.98	711	700	0.99
3	4-5	41.3	41.9	1.01	40.2	0.97			31.7	32.2	1.02	585	551	0.94
4	3-4	41.9	42.7	1.02	43.6	1.04			32.7	32.7	1.00	544	544	1.00
5	5-6	38.9	38.2	0.98	37.8	0.97	37.0	0.95	29.4	28.8	0.98	689	731	1.06
6	3-5	39.1	41.2	1.05	38.3	0.98	40.1	1.03	30.7	30.5	0.99	647	668	1.03
7	7-8	44.0	44.0	1.00	45.1	1.03	45.3	1.03	31.5	33.3	1.06	641	613	0.96
8	8-9	44.1	41.1	0.93	44.2	1.00	43.6	0.99	33.6	33.0	0.98	645	625	0.97
9	7-9	42.0	40.9	0.97	41.4	0.99	43.9	1.05	31.7	30.4	0.96	627	648	1.03
10	10-4	46.8	45.3	0.97	45.4	0.97	45.7	0.98	34.9	30.9	0.89	503	503	1.00
11	6-10	46.1	45.2	0.98	44.2	0.96	45.7	0.99	32.5	32.8	1.01	573	585	1.02
12	11-12	44.9	43.7	0.97	42.3	0.94	43.6	0.97	34.0	33.7	0.99	598	630	1.05
13	7-11	44.6	43.5	0.98	44.0	0.99	44.0	0.99	33.0	32.4	0.98	592	627	1.06
14	12-13	45.0	46.7	1.04	43.1	0.96	46.1	1.02	33.7	33.5	0.99	660	662	1.00
15	14-12	44.7	45.3	1.01	45.8	1.02	46.3	1.04	33.2	31.9	0.96	686	712	1.04
16	13-9	44.6	44.5	1.00	41.6	0.93	42.3	0.95	32.1	30.8	0.96	642	621	0.97
17	14-13	46.3	46.9	1.01	43.9	0.95	44.5	0.96	30.8	32.4	1.05	666	721	1.08
18	15-13	46.3	48.3	1.04	46.8	1.01	45.8	0.99	31.8	31.9	1.00	639	638	1.00
19	16-15	43.2	41.8	0.97	41.7	0.97	42.7	0.99	30.0	30.3	1.01	675	713	1.06
20	1-15	46.8	47.9	1.02	43.7	0.93	45.2	0.97	32.0	32.6	1.02	684	702	1.03
21	16-1	48.0	50.1	1.04	46.0	0.96	48.6	1.01	32.4	32.1	0.99	713	769	1.08
22	11-17	45.7	44.3	0.97	44.5	0.97	45.1	0.99	35.9	34.7	0.97	584	577	0.99
23	17-18	47.1	48.0	1.02	45.6	0.97	41.7	0.89	34.0	34.2	1.01	611	603	0.99
24	11-18	49.2	47.5	0.97	48.2	0.98	48.6	0.99	36.3	37.7	1.04	651	632	0.97
平均		44.5	44.4	1.00	43.5	0.98	44.3	0.99	32.5	32.2	0.99	639	647	1.01
標準偏差		2.50	2.79	0.03	2.43	0.03	2.63	0.04	1.71	1.83	0.03	58.2	66.6	0.04
変動係数		5.6	6.3	3.0	5.6	2.8	5.9	3.6	5.3	5.7	3.5	9.1	10.3	4.0
最大値		49.2	50.1	1.05	48.2	1.04	48.6	1.05	36.3	37.7	1.06	776	769	1.08
最小値		38.9	38.2	0.93	37.8	0.93	37.0	0.89	29.4	28.8	0.89	503	503	0.94

※ 網掛けは、2つのコンクリートを上下に打ち込んだ時の下層の強度<上層の強度の場合を示している。また、空欄は供試体を採取していない。

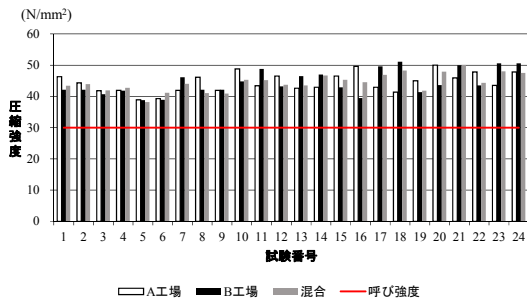


図-2 圧縮強度 (A・B 混合)

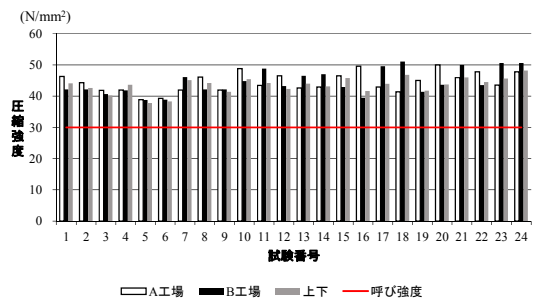


図-3 圧縮強度 (A・B 上下)

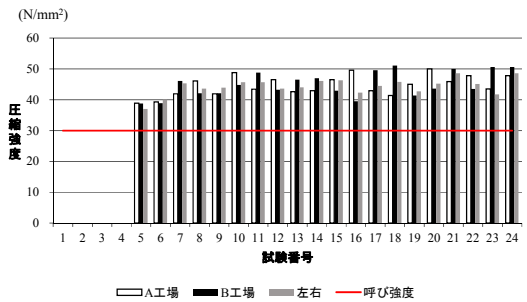


図-4 圧縮強度 (A・B 左右)

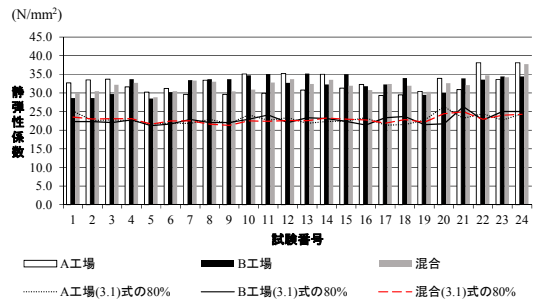


図-5 静弾性係数と JASS5 (3.1) 式の 80%の値との関係

(1) 圧縮強度

A 工場、B 工場、混合した供試体、上下の供試体、左右の供試体、これら全ての圧縮強度は呼び強度の強度値である 30N/mm^2 を上回った。

A・B の平均値に対する混合した供試体の比では、最大 1.05、最小 0.93、全ての組合せの平均は 1.00 であり、A・B の平均値と混合した供試体の圧縮強度は同等の結果となった。

A・B の平均値に対する上下の供試体の比では、最大 1.04、最小 0.93、全ての組合せの平均は 0.98

であり、上下の供試体の圧縮強度は、A・B の平均値よりやや低くなる傾向が見られた。圧縮強度が下層より上層が大きいものと下層より上層が小さいものを比較したが、特に差はなかった。

A・B の平均値に対する左右の供試体の比では、最大 1.05、最小 0.89、全ての組合せの平均は 0.99 となった。

(2) 静弾性係数

全ての静弾性係数は、JASS5 3.8 a にある (3.1) 式の値の 80%以上であった。A・B の平均値に対する混合した供試体の比では、最大値 1.06、最小値 0.89、全ての組合せの平均値は 0.99 となった。

(3) 長さ変化率

全ての長さ変化率は、 800×10^{-6} 以下であった。A・B の平均値に対する混合した供試体の比では、最大値 1.08、最小値 0.94 であり、全ての組合せの平均値は 1.01 となった。各組合せの混合した供試体と A・B の平均値を比べると数値に大小はあるものの偏った傾向は見られなかった。

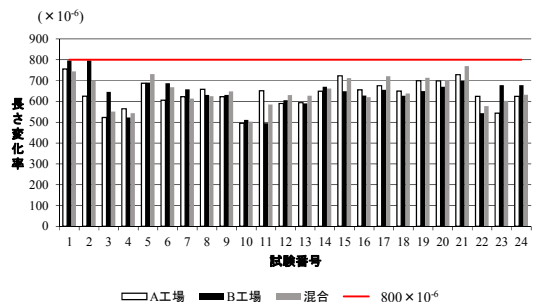


図-6 長さ変化率

4. まとめ

フレッシュコンクリートの性状では、二つの工場の生コンクリートを混ぜ合わせても急結や分離等を起こすものはなかった。

全ての試験結果について、圧縮強度が呼び強度を下回ることはなく、静弾性係数と長さ変化率（乾燥収縮率）では、JASS5 に定められる値を満足していた。

圧縮強度は、混合した供試体、上下の供試体、左右の供試体のいずれについても A・B の平均値に近い値となった。

静弾性係数、長さ変化率についても混合した供試体の値は A・B の平均値に近い値となった。

今回の実験では、異なる工場の生コンクリートの容積割合を 50：50 としたことが、二つの工場の平均値に近似する結果となったと考えられる。

使用材料が異なるコンクリートの混用については、過去の文献³⁾⁴⁾により品質への影響がないことが報告されている。本実験の組合せにおいても、混合後のフレッシュコンクリートの性状と硬化後の品質に影響を及ぼすことはなかった。

これらのことから、それぞれの工場の試験データがあれば、混用する場合の硬化後の品質をある程度予測できることがわかった。

また、本実験により滋賀県生コンクリート工業組合員間では、生コンクリートの混用を特に問題無く行えることが確認できた。

謝辞

本実験にご協力いただいたセメント会社、混和剤会社及び試験会社の皆様方、並びに関係各位へ心より御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2015
- 2) 土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書 [施工編]
- 3) 門司唱：製造工場の異なる生コンの混用 セメント・コンクリート No.503, pp.39-44, 1994.11
- 4) 岸谷孝一：異種生コン、異種混和剤の混用に関する問題点 セメント・コンクリート No.399, pp.10-17, 1980.5