

再生コンクリートにおける新しい配合方法（中編） – A new method for proportioning recycled concrete (Part 2) –

著：P.Gupta, Z.Khaudhair, A.Ahuja
 訳：会誌編集委員会海外部会

本稿では、等価粗骨材質量法（equivalent coarse aggregate mass method, ECAM 法）と呼ばれる再生骨材（RCA）を用いたコンクリートの新しい配合設計法を提案する。この設計法の基本的な概念は、14 種類の配合設計と 99 個の供試体を用いた実証実験により示される。実験は 2 段階に分けて行った。第 1 段階では、圧縮強度試験およびスランプ試験により、この配合設計法の適用範囲を実証した。さらに、第 2 段階では、ECAM 法を用いて配合設計した再生コンクリート（RaC）の機械的性質が、おおむね普通コンクリートと同等となることを実証した。

前編では、ECAM 法の基本的な概念および計算方法について報告した。本編では、全 2 段階の実験のうち第 1 段階について報告する。

4. 実験計画：第 1 段階

4.1 材 料

第 1 段階では、普通コンクリート（NC）や再生コンクリートを製作するために、ASTM C150¹⁹⁾ におけるタイプ I の普通ポルトランドセメントを配合に使用した。ASTM C33²⁰⁾ に準じ、細骨材（FA）には粗粒率 2.4 で 4.75 mm ふるいを通過した天然の川砂を使用し、天然粗骨材（NCA）には最大骨材粒径 12.5 mm の碎石を使用した。細骨材の比重、含水率および吸水率はそれぞれ 2.7, 0.79% および 1.6% であり、天然粗骨材ではそれぞれ 2.6, 0.1% および 0.5% であった。再生骨材は長期間供用されていた旧道を取り壊した際に得られたものであり（写真 - 1）、品質については未確認であった。

再生骨材となる破碎コンクリートは、ASTM C33 に準じ各粒度群にふるい分けを行った。なお、再生骨材の比重、含水率および吸水率はそれぞれ 2.28, 0.5% および 4.33% であった。図 - 1 に示されるように、使用する天然粗骨材、再生骨材および細骨材の粒度は、ASTM C33 により規定されている骨材の粒度分布の範囲内に収まった。

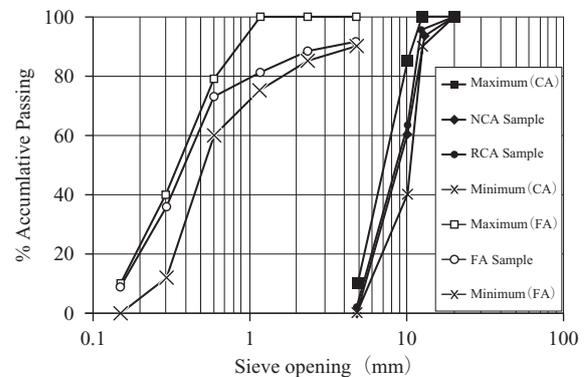


図 - 1 使用する骨材の粒度分布曲線

4.2 旧モルタル分質量 (M_{OM}) の決定

Fathifazul らの文献¹⁶⁾ で提案されている再生骨材中の旧モルタル分質量 (M_{OM}) を推定するために、粒度分布の異なる 3 つの再生骨材（粒度分布 4.75～9.5 mm の再生骨材 1 000 g、粒度分布 9.5～12.5 mm の再生骨材 2 000 g、粒度分布 12.5～19 mm の再生骨材 2 000 g）を 3 種類ずつ用意した。 M_{OM} は試料ごとに計算し、各試料の平均質量 M_{OM} は ECAM 法の式 (5) から計算される。



(a) 破 碎 前



(b) 破 碎 後

写真 - 1 再生骨材

$$M_{OM} = 0.35 M_{OM(4.75-9.5)} + 0.25 M_{OM(9.5-12.5)} + 0.4 M_{OM(12.5-19)} \quad (5)$$

ここに、

$M_{OM(4.75-9.5)}$: 粒度分布 4.75～9.5 mm の再生骨材中の旧モルタル分質量 (g)

$M_{OM(9.5-12.5)}$: 粒度分布 9.5～12.5 mm の再生骨材中の旧モルタル分質量 (g)

$M_{OM(12.5-19)}$: 粒度分布 12.5～19 mm の再生骨材中の旧モルタル分質量 (g)



写真 - 2 再生骨材中の原骨材 (旧モルタル分除去後)

再生骨材中における原骨材 (写真 - 2) の質量 (M_{OVA}) を求めるために、まず、試料を乾燥機にて 100～105℃ の環境下で、24 時間乾燥させ、26% 硫酸ナトリウム溶液に 24 時間浸漬させた。そののち、硫酸ナトリウム溶液に浸漬させた状態で 7～10 サイクルの凍結融解を行った。凍結融解の 1 サイクルは、凍結 (-18℃, 16 時間) と融解 (80℃, 8 時間) の計 24 時間とした。最終サイクル後に、試料を溶液から取り出し、4.75 mm ふるいに置き、水道水で洗い流した。そして、これらの試料を乾燥機にて 100～105℃ の環境下で、24 時間存置した。乾燥試料の質量を M_{OVA} として考えると、再生骨材中の旧モルタル分の質量パーセント ($\%M_{OM}$) は ECAM 法の式 (6) で計算される (M_{RCA} は天然粗骨材の質量を示す)。

$$\% M_{OM} = \left(\frac{M_{RCA} - M_{OVA}}{M_{RCA}} \right) \times 100 \quad (6)$$

表 - 1 に、各試料における平均質量パーセントの計算結果を示す。3 種類の試料における旧モルタル分の質量

パーセントの平均値 (W_{OM}) は 34.93% となる。

4.3 第 1 段階の配合

表 - 2 に、第 1 段階のコンクリート配合を示す。第 1 段階では、普通コンクリート (0% 置換) と 25%、50%、75% および 100% で天然粗骨材を再生骨材に質量置換された 4 種類の再生コンクリートを準備した。ECAM 法の式 (1)～式 (3) (前編参照) より、再生骨材および天然粗骨材の質量を計算した。また、ACI211.1¹⁸⁾ における絶対容積法に準じ、細骨材の質量を 1 m³ あたりのセメント、水、天然粗骨材、再生粗骨材および高性能減水剤の質量調整により計算した。細骨材と粗骨材を表面乾燥飽水状態で使用し、ワーカビリティを保つために高性能減水剤をセメント乾燥質量の 0.5% 使用した。ECAM 法の式 (4) (前編参照) より、見かけの質量置換率は 0%、34%、61%、82% および 100% となった。立方体供試体 (1 辺 150 mm) を 30 個製作し、普通コンクリートお

表 - 1 各試料における平均質量パーセントの計算結果

Sieve division (mm)	Original mass (g)	Mass of original virgin aggregate (gm)*			% of old mortar			% individual mass of old mortar		
		Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 1	Sample 2	Sample 3
4.75-9.5	1 000	532	517	523	46.8	48.3	47.7	16.38	16.90	16.69
9.5-12.5	2 000	1 371	1 342	1 362	31.45	32.9	31.9	7.86	8.22	7.97
12.5-19	2 000	1 479	1 483	1 501	26.05	25.85	24.95	10.42	10.34	9.98
Average mass of old mortar								34.66	35.47	34.65
Average of mass of old mortar for three samples (W_{OM})								34.93		

*After 7 freeze-thaw cycles

表 - 2 第 1 段階のコンクリート配合

Component per m ³	NC	RaC-25	RaC-50	RaC-75	RaC-100
Cement (kg)	463	463	463	463	463
Natural river sand (kg)	769	581	395	207	21
Natural coarse aggregate (kg)	956	717	478	239	0
Recycled concrete aggregate (kg)	0	368	736	1 103	1 471
Water (kg)	199	199	199	199	199
Superplasticizer (l)	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Actual replacement ratio*	0 %	34 %	61 %	82 %	100 %
Nominal replacement ratio	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %

* = mass of RCA / (mass of RCA + mass of NCA)

よび質量置換率の異なる再生コンクリートにおいて材齢 7 日, 28 日の圧縮強度試験を行った。また, ASTM C143²¹⁾ に準じ, 普通コンクリートと再生コンクリートのスランブ試験を行った。

4.4 第 1 段階の結果

第 1 段階の実験結果を表 - 3 に示す。実験は, すべての配合について, 6 個の立方体供試体で行った。表 - 3 から明らかのように, RaC-25 および RaC-50 の圧縮強度は, 材齢 7 日および 28 日ともに, 普通コンクリートの圧縮強度と同等以上となり, RaC-75 および RaC-100 の圧縮強度は著しく低くなった。これは, 早期に確認された材料分離による豆板が原因であり, 高い質量置換率を有する再生コンクリート中の空隙を充填するのに必要な細骨材量が不足していたために生じたものである。表 - 2 より, 1 m³ あたりの粗骨材, セメントおよび水の質量調整を行った場合, 再生骨材量の増加に伴い, 細骨材量は減少していることが分かる¹⁸⁾。

また, スランブ試験の結果より, 高い質量置換率に伴うスランブの低下を確認した。この結果は, 高性能減水剤による影響を避けるため, すべての配合および質量置換率に対して同量の高性能減水剤を使用したことに起因している。質量置換率が高くなることにより, 再生コンクリート中の旧モルタル分を著しく増加させ, 天然粗骨材と比較して再生骨材による吸水量が増加する。結果として, 低水セメント比となり, ワークビリティの低下を引き起こした。この結果は, 再生骨材が飽和状態で使用されていても, 再生コンクリートのワークビリティが普通コンクリートより低下することを報告した Nixon⁵⁾ の

実験結果によっても確認されている。しかしながら, 普通コンクリートとは異なり, 再生コンクリートは 2 つの遷移帯 (前編参照) を有するため, 水セメント比を小さくすることは圧縮強度の増加に対して有効ではない。以上より, ECAM 法による再生コンクリートの配合設計は, 質量置換率が 50 % 以下のコンクリートに適用可能であることが分かる (この実験における RaC-50 の見かけの質量置換率は 61 % であった)。

※ 3 号へと続く

参考文献

- 5) Nixon, P. J.: Recycled aggregate as an aggregate for concrete – a review. *Materials and Structures*, 1978, 11 (5), pp. 371-378.
- 16) Fathifazul, G., Abbas, A., Razaqpur, G., Isgor, O. B., Fournier, B., Foo, S.: New mixture proportioning method for concrete made with coarse recycled concrete aggregate. *Journals of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 2009, 21 (10), pp. 601-611.
- 18) ACI 211.1: Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91). American Concrete Institute, 1991.
- 19) ASTM C150/C150M: Standard specification for Portland cement. American Society for Testing and Materials, 2012.
- 20) ASTM C33/C33M: Standard Specification for Concrete Aggregates. American Society for Testing and Materials, 2011.
- 21) ASTM C143/C143M: Standard test method for slump of hydraulic cement concrete. American Society for Testing and Materials, 2010.

This article was first issued in Structural Concrete, the official journal of the fib, December 2016, Volume 17, Number 4, page 677-687
Structural Concrete (Wiley Online Library)
[http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/\(ISSN\)1751-7648](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/(ISSN)1751-7648)

表 - 3 第 1 段階の実験結果
(スランブ, 圧縮強度)

Result	NC	RaC-25	RaC-50	RaC-75	RaC-100
Slump (mm)	150	134	128	94	65
Averaged compressive strength of three cubes (MPa)					
7 days	30.4	33.9	32.9	29.7	20.2
28 days	40.3	43.7	42.0	32.9	21.8

* : 会誌編集委員会海外部会委員
 濱崎 景太 (首都高速道路 (株))
 渡邊 秀知 (㈱ ピーエス三菱)
 佐藤 千鶴 (㈱ 銭高組)
 田中 慎也 (㈱ IHI インフラ建設)
 森田 遼 (鹿島建設 (株))

[2017 年 12 月 26 日受付]



刊行物案内

PE シースを用いた PC 橋の設計施工指針 (案)

平成 27 年 8 月

定 価 4,800 円 / 送料 300 円

会員特価 4,000 円 / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会