

再生粗骨材コンクリートの建築構造物への適用

丸嶋 紀夫*¹・石井 貴和*²・飯島 真人*²・佐野 匡史*³・早川 光敬*⁴・馬野 鐵雄*⁵・木村 芳幹*⁶

Keywords : recycled coarse aggregate, screw grinding, recycled concrete, building construction, aggregate quality, concrete mix

再生粗骨材, スクリュー磨砕, 再生コンクリート, 建築構造物, 骨材品質, コンクリート調査

1. はじめに

大阪市立大学総合教育棟建設工事において、同大学旧3号館校舎のコンクリート解体材から高品質の再生粗骨材を製造し、その粗骨材を用いたコンクリートを構造体の一部に施工した。本報告は、再生粗骨材の原料となる原コンクリートの品質調査、再生粗骨材の製造、コンクリート調査を決定するための試験練り、更に建築構造物

に打設した再生粗骨材コンクリートの品質管理試験結果について述べるものである。

2. 原コンクリートの調査

再生粗骨材コンクリートを建築構造物に適用するに当たり、原コンクリートの品質を把握することを目的として、旧3号館校舎の外観調査とコンクリートコアによる

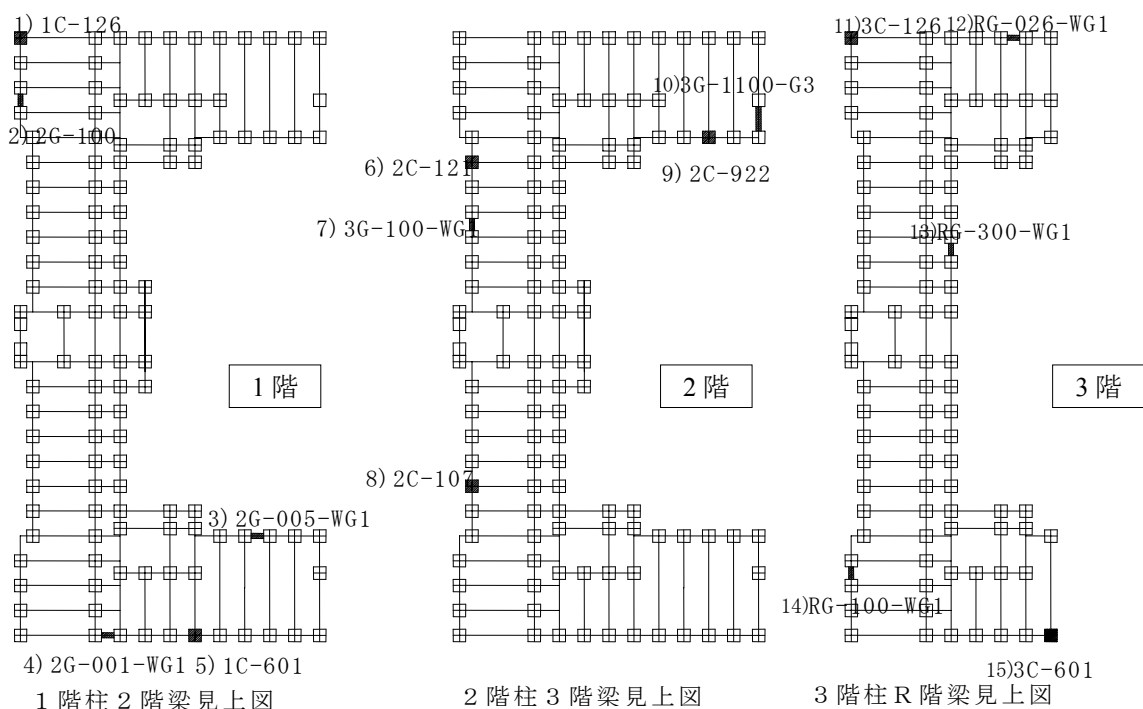


図-1 コア採取位置 (平面図) (黒塗部が採取位置を示す)
Core Boring Position (Plane View)

* 1 技術センター建築技術研究所建築構工法研究室
* 2 建築本部技術部建築技術部
* 3 関西支店建築部建築作業所
* 4 東京工芸大学工学部建築学科
* 5 (株)松田平田設計大阪事務所
* 6 (財)日本建築総合試験所建築部

物の確認を行った。旧3号館校舎はRC造3階建て(建築面積 1576m³、延床面積 4447m³)で、竣工は昭和8年である。柱壁部材からのコアの採取位置を図-1に、試験項目を表-1に示す。圧縮強度と中性化深さに供したコア数量は各階3~4体、計11体である。

表-1 試験項目と試験方法
Test Item and Method

試験項目	試験方法	数量
圧縮強度	JIS A 1107	11
中性化深さ	JIS A 1152	11
調合分析	セメント協会法	3

旧3号館校舎の外観調査では特に変状はみられず、コアの外観から使用粗骨材は川砂利と推定された。試験結果を図-2～5と表-2に示す。1～3階全体ではコンクリートのかさ密度の平均は2281kg/m³、圧縮強度の平均は22.5N/mm²であった。かさ密度は2階がやや大きく、圧縮強度は上層階ほど大きい傾向が見られる。ただし圧縮強度は同一階でもばらつきが大きかった。また、中性化深さはモルタル+ペンキ<漆喰+ペンキ<打放しの順で大きかった。しかし、モルタル+ペンキ仕上げでは中性化のばらつきが大きくコンクリートの密実性の影響によるものと思われる。コンクリートの調合推定結果は各階でばらつきみられたが、使用コンクリートは水セメント比が70%程度として調合されていたと推定される。

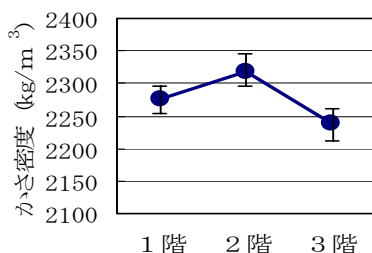


図-2 各階のコンクリートのかさ密度
Bulk Density of Concrete Core

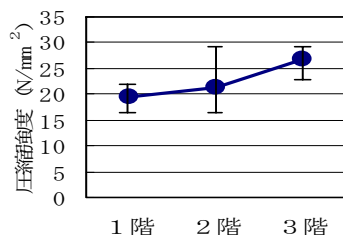


図-3 各階の圧縮強度
Compressive Strength of Concrete Core

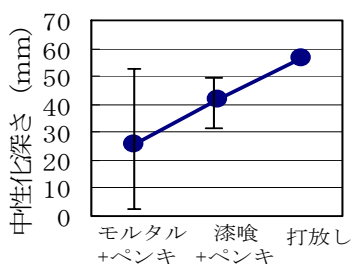


図-4 仕上げ種類と中性化深さ
Kind of Finish Material and Neutralization Depth of Concrete

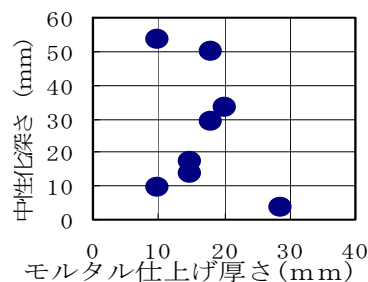


図-5 モルタル仕上げ厚さと中性化深さ
Thickness of Mortar and Neutralization Depth of Concrete

表-2 コアによるコンクリートの調合推定結果
Results of Estimate of Concrete Mix Proportion

試験体記号	水量 (%)	表乾単位容積質量 (kg/m ³)	各材料の単位量 (kg/m ³)			W/C (%)
			セメント	骨材	水	
1階-柱	8.2	2370	213	1992	165	71.4
2階-柱	8.1	2390	252	1973	164	65.0
3階-柱	8.9	2380	239	1958	183	76.6

3. 再生粗骨材製造条件の検討

再生粗骨材の製造はスクリー磨砕法¹⁾とし、1回処理速度 30 t/hr の装置を用いた。この装置は通過回数を変えることで、低品質から高品質までの再生粗骨材を製造することができる。

そこで、原コンクリートを 40mm 以下に破碎したものを原料とし、試運転時に処理回数を変えて再生粗骨材を製造した。処理回数と骨材品質の関係を表-3に示す。その結果 2 回以上の処理により絶乾密度と吸水率は JIS A 5308 の規格を満足することがわかった。従って、再生粗骨材の製造は 3 回処理を行うこととした。

表-3 スクリー磨砕処理回数と再生粗骨材の品質
Relationship between Repeated Number of Screw Grinding and Quality of Recycled Coarse Aggregate

品質項目	1回処理	2回処理	3回処理	4回処理	JIS規格
表乾密度(g/cm ³)	2.54	2.58	2.60	2.63	—
絶乾密度(g/cm ³)	2.46	2.52	2.56	2.58	2.5以上
吸水率 (%)	3.08	2.17	1.60	1.62	3.0以下

4. 再生粗骨材の製造と骨材品質

スクリー磨砕方式の再生粗骨材の製造装置を岸和田市の中間処理工場に設置し、コンクリート解体材を同工場に約 1200 t 持ち込み 40mm 以下に破碎し、これを原料としてスクリー磨砕 3 回処理を行った。製造記録を表-4に示すが、1日当たり平均 26 t、10日間で合計 260

tの再生粗骨材を製造した。製造した再生粗骨材は袋詰めして保管した。

再生粗骨材の品質管理試験結果を表-5に示す。また、図-6～8に絶乾密度、吸水率、アルカリ骨材反応性迅速法の日間変動の結果を示す。これらの結果により、絶乾密度が2.5g/cm³以上で、吸水率が2%以下の再生粗骨材が安定して製造されていることがわかる。

表-4 再生粗骨材製造記録

Recycled Coarse Aggregate Manufacture Record

操業	原料投入量 累計 (kg)	再生粗骨材 製造量累計(kg)	5mm以下 回収量累計(kg)
10日間	506,594	260,250	246,020

表-5 再生粗骨材の品質管理試験一覧

Results of Quality Control Test of Recycled Coarse Aggregate

項目	製造日										平均値	標準偏差	
	10/1	10/2	10/3	10/4	10/5	10/6	10/7	10/8	10/9	10/10			
絶乾密度 (g/cm ³)	2.54	2.54	2.54	2.55	2.55	2.55	2.56	2.54	2.54	2.54	2.55	0.01	
表乾密度 (g/cm ³)	2.58	2.58	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.58	2.58	2.58	2.58	0.01	
吸水率 (%)	1.76	1.72	1.74	1.50	1.58	1.54	1.26	1.65	1.73	1.70	1.62	0.15	
実積率 (%)	64.2	—	65.0	—	—	—	65.2	—	—	—	64.8	0.53	
単位容積質量 (kg/l)	1.62	—	1.65	—	—	—	1.67	—	—	—	1.65	0.02	
粘土塊量 (%)	—	—	0.01	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—	
微粒分量 (%)	—	—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.1	—	
浮粒率 (%)	—	—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	0.2	—	
塩化物量(NaClとして)(%)	0.001	—	0.002	—	—	—	0.002	—	—	—	0.002	0.000	
すりへり損失量 (%)	—	—	13.1	—	—	—	—	—	—	—	13.1	—	
安定性 (%)	7.0	—	4.9	—	—	—	2.7	—	—	—	4.9	1.8	
有機不純物	—	—	薄い	—	—	—	—	—	—	—	薄い	—	
ふるい分け試験	最大寸法 (mm)	25	20	25	25	25	25	25	25	25	25	—	—
	粗粒率 (%)	6.82	6.74	6.79	6.78	6.79	6.79	6.85	6.94	6.93	6.89	6.83	0.07
アルカリシリカ反応性	溶解シリカ量Sc (mmol/l)	—	—	47	—	—	—	—	46	—	46	46	
	アルカリ濃度減少量 Rc (mmol/l)	—	—	79	—	—	—	—	70	—	74	74	
	判定	—	—	無害	—	—	—	—	無害	—	無害	無害	
	ZKT-206(迅速法) 相対動弾性係数(%)*	88	83	88	82	91	84	86	87	88	—	86.3	2.9

*:コンクリート調合 W/C55%

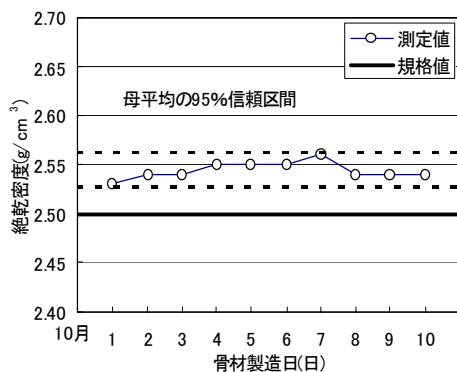


図-6 絶乾密度の日間変動
Changes in Density in
Absolute Dry of Aggregate

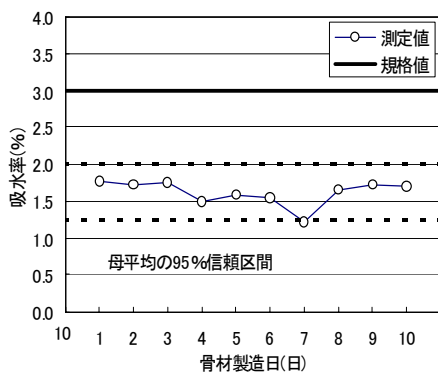


図-7 吸水率の日間変動
Changes in Water
Absorption Coefficient

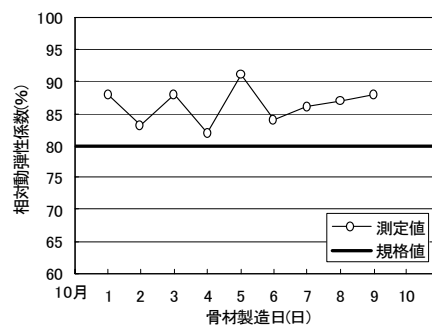


図-8 ASR 迅速法の日間変動
Changes in Relative Dynamic
Modulus of Elasticity of ASR
Quick Test

5. 再生粗骨材コンクリートの製造と施工

ここでは、コンクリート調合を決定するために行った2回の小型ミキサによる試験練り及び実機ミキサによる実機試験練りの結果を述べ、さらに建築構造物に打設した再生粗骨材コンクリートのフレッシュ性状について報告する。

コンクリートの使用材料を表-6に示す。

表-6 使用材料

Materials of Concrete

種類	産地又は品名	物性
セメント	宇部三菱社	普通ポルトランドセメント密度3.16g/cm ³
細骨材 (S1) 川砂	建省上海市九龍江	表乾密度2.57 g/cm ³ 、吸水率1.73%
細骨材 (S2) 砕砂	兵庫県西島	表乾密度2.57 g/cm ³ 、吸水率1.76%
粗骨材 (G) 再生粗骨材	スクルー摩砕3回処理品	表乾密度2.59 g/cm ³ 、吸水率1.74%
混和剤 (Ad)	ポゾリスNo.70	AE減水剤標準形 I 種
混和剤 (Ad*)	マイティ3000S	高性能AE減水剤(2回目の試験練りに使用)
水	上水道水	

5.1 小型ミキサによる試験練り

コンクリートの調合計画は粗骨材かさ容積を 620ℓ/m³として、水セメント比を 47~65%の範囲に設定した。スランプの目標値は 18 cm、空気量は 4.5%である。

計画調合を表-7に示す。記号 65A は、記号 65 でスランプがやや小さいと判断したため、単位水量を 5kg/m³増加させた調合である。表-8にフレッシュコンクリートの試験結果及び圧縮強度試験の結果を示し、セメント水比と圧縮強度の関係を図-9に示す。図-9によると、材齢 7日、28日とも C/W と圧縮強度の関係は概ね一次回帰できる。W/C=47%のコンクリートの材齢 28日圧縮強度は、回帰式による値より小さくなる傾向がみられる。

表-7 計画調合表 (1回目)

Concrete Mix Proportion (1st Test)

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	S 1	S 2	G	Ad
65	65	42.6	170	262	538	231	1,044	3.144
65A	65	42.0	175	269	525	225	1,044	3.228
55	55	40.7	175	318	497	213	1,044	3.816
47	47	38.4	185	394	436	187	1,044	4.728

表-8 コンクリート試験結果 (1回目)

Results of Concrete Test (1st Test)

記号	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	
				材齢 7日	材齢 28日
65	16.0	4.6	21.4	23.1	31.0
65A	18.0	4.4	21.4	23.5	30.4
55	17.0	4.1	21.5	29.2	39.9
47	19.0	3.7	21.5	34.8	41.6

1回目の試験練りの結果を踏まえ、調合を一部修正して2回目の小型ミキサによる試験練りを行った。W/C=65%の調合は、単位セメント量が 270kg/m³を下回るために、W/C=64.8%とし、W/C=47%の調合は、単位水量を減じるために高性能 AE 減水剤を使用した。計画調合を表-9に示す。フレッシュコンクリートの試験と圧縮強度の試験結果を表-10に示す。1回目の試験練りに比較して、W/C=47%はほぼ同程度の強度であるが、それ以外の W/C では強度値小さかった。

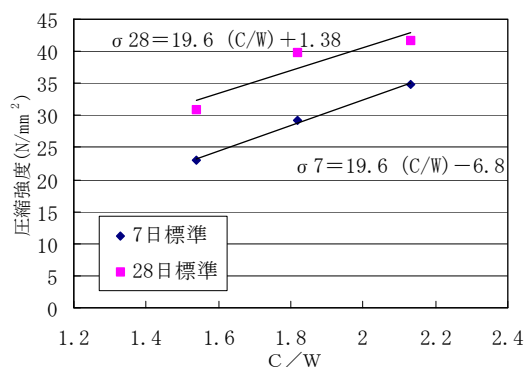


図-9 C/W と圧縮強度の関係

Relationship between C/W and Compressive Strength

表-9 計画調合表 (2回目)

Concrete Mix Proportion (2nd Test)

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	S 1	S 2	G	Ad*
64.8	64.8	42.0	175	270	525	225	1,044	2.86
55	55	40.0	180	327	484	207	1,044	3.47
47	47	39.9	170	362	480	206	1,044	1.63

*: 記号 47 は高性能 AE 減水剤を使用

表-10 コンクリート試験結果 (2回目)

Results of Concrete Test (2nd Test)

記号	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	塩化物イオン量 (kg/m ³)	圧縮強度 (N/mm ²)		
					現場水中養生		標準養生
					材齢 7日	材齢 28日	材齢 28日
64.8	19.0	5.1	22	0.028	16.1	22.9	23.6
55	20.0	4.3	22	0.032	21.6	30.2	31.0
47	20.5	4.2	22	0.033	29.9	40.2	42.3

5.2 実機ミキサによる試験練り

2回目の試験練りと同一割合で実機ミキサによる試験練りを行った。フレッシュコンクリートの試験結果として経過時間 90 分までの品質の変化を表-11 に示すが、大きい変化は見られなかった。

表-11 フレッシュコンクリートの試験結果
Results of Fresh Concrete Test

記号	試験項目	経過時間			
		0分	30分	60分	90分
64.8	スランブ(cm)	19.0	18.0	17.5	17.5
	空気量(%)	3.1	3.3	3.3	3.4
	コンクリート温度(°C)	20.0	20.0	20.0	19.5
55	スランブ(cm)	19.0	17.5	18.5	18.0
	空気量(%)	3.7	4.0	3.8	3.9
	コンクリート温度(°C)	20.0	20.0	20.0	19.0
47	スランブ(cm)	20.5	20.5	20.0	19.0
	空気量(%)	3.5	4.3	4.3	4.5
	コンクリート温度(°C)	20.0	20.0	19.0	19.0

表-12 に圧縮強度試験結果を示し、図-10 に C/W と圧縮強度の関係を示す。表-12 には標準養生以外に 5°C水中養生による強度試験結果も併記した。

表-12 圧縮強度試験結果
Results of Compressive Strength

記号	養生	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)		
			経過時間		
			0分	60分	90分
64.8	標準	7	15.4	15.9	16.3
		28	23.6	24.4	23.9
	5°C 水中	7	—	11.7	—
		28	—	19.4	—
55	標準	7	23.4	24.6	23.0
		28	33.8	33.4	33.4
	5°C 水中	7	—	19.5	—
		28	—	29.5	—
47	標準	7	29.4	28.7	29.6
		28	41.6	39.8	39.1
	5°C 水中	7	—	22.7	—
		28	—	33.7	—

試験練りの結果からセメント水比と圧縮強度の関係は (1) 式となるが、

$$\sigma_{28} = 27.587(C/W) - 17.916 \quad (1)$$

1 回の試験結果であるので、調合決定のためには安全を考慮して、90%式として (2) 式を採用した。

$$\sigma_{28}(\text{実施}) = 24.828(C/W) - 16.124 \quad (2)$$

JASS5 に従い調合強度を求め (2) 式を用いて表-13 に示すように、呼び強度 30、27、24 の調合を決定した。呼び強度 30 及び 27 のコンクリートは高性能 AE 減水剤を使用することとし単位水量を調整した。

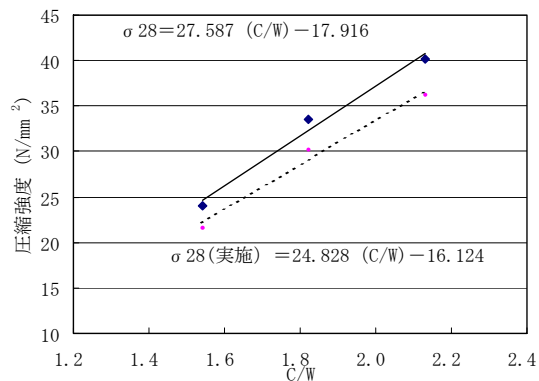


図-10 C/W と圧縮強度の関係 (実機試験)
Relationship between C/W and Compressive Strength (Plant Test)

また、5°C水中養生強度と標準養生強度との強度差は 3 調合全体でおおよそ 5N/mm² 程度であり、一般コンクリートと同様の予想平均気温による強度の補正値を用いることができる。

表-13 再生粗骨材コンクリートの調合
Mix Proportion of Recycled Coarse Aggregate Concrete

呼び強度	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	S 1	S 2	G	A d*
30	47	39.9	170	362	480	206	1,044	1.45
27	51	40.7	170	333	498	214	1,044	1.40
24	55	40.0	180	327	484	207	1,044	3.47

*: 呼び強度 30,27 は高性能 AE 減水剤を使用

5.3 再生粗骨材コンクリートの施工

再生粗骨材コンクリートを施工した建物は、RC 造地下 1 階、地上 5 階建ての総合教育棟の 5 階部分の約半分及び平屋建て倉庫棟 (5×15×H3.2m) の地上躯体の 2 箇所である。コンクリートは呼び強度 30 (30-18-25N) 及び 27 (27-18-5N) であり、打設量はそれぞれ 148.5m³ 及び 49.5m³ である。呼び強度 30 のコンクリートの品質検査結果を表-14 に、呼び強度 27 の品質検査結果を表-15 に示す。表-14 及び-15 には、現場水中養生と標準養生の圧縮強度試験結果も併記した。表-14 及び-15 によるとフレッシュコンクリートの品質は、管理目標値 (スランブ±2.5cm、空気量±1.5%) を満足した。また、材齢 7 日で現場水中養生の圧縮強度は、呼び強度の強度値以上であり、施工した再生粗骨材コンクリートは所要の品質が得られていると判断される。写真-1 及び-2 に再生粗骨材コンクリートの施工の状況を示す。

表-14 コンクリートの品質試験結果(30-18-25N)
Results of Quality Test of Concrete(30-18-25N)

回数	スランブ (c m)	空気量 (%)	フロー値 (c m)	塩化物量 (kg/m ³)	コンクリート温度 (°C)
回数	標準養生		現場水中養生		
	材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 7 日	材齢 28 日	
1	18.5	4.4	32×30	0.065	15.0
2	15.5	3.3	27×27	0.060	17.0
3	19.0	3.4	32×30	0.060	16.0
1	35.1	44.7	35.4	45.6	
2	35.6	46.3	36.8	45.7	
3	34.0	44.6	33.1	44.0	

表-15 コンクリートの品質試験結果(27-18-25N)
Results of Quality Test of Concrete(27-18-25N)

回数	スランブ (c m)	空気量 (%)	フロー値 (c m)	塩化物量 (kg/m ³)	コンクリート温度 (°C)
回数	標準養生		現場水中養生		
	材齢 7 日	材齢 28 日	材齢 7 日	材齢 28 日	
1	18.0	4.7	32×30	0.065	13.0
2	18.0	4.4	30.5×29.5	0.065	13.0
3	19.5	4.2	32.5×32.5	0.065	14.0
1	29.1	38.0	29.3	41.5	
2	31.7	40.4	30.0	42.0	
3	31.5	41.1	30.2	41.5	

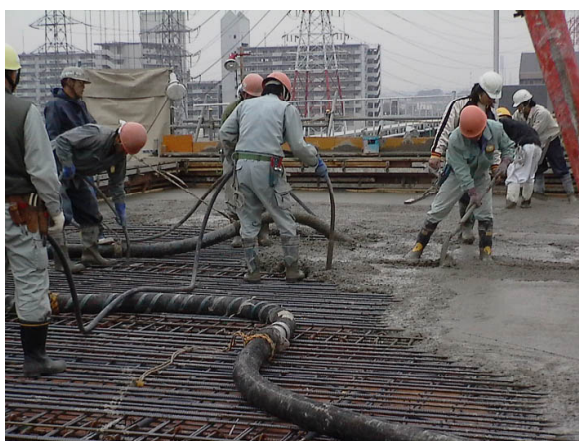


写真-1 コンクリートの施工
Recycled Coarse Aggregate
Concrete Construction



写真-2 コンクリート品質試験
Quality Test of Concrete

6. まとめ

築後 70 年経過した RC 構造物のコンクリート解体材から、高品質再生粗骨材を製造し、再生粗骨材コンクリートを新たな建築構造物へ適用するにあたり、再生粗骨材の製造、再生粗骨材コンクリート製造・施工までの品質管理体制を整備し、建築基準法第 37 条第 2 項による国土交通大臣認定を受け、実際に建築構造物に施工した。その結果、再生粗骨材コンクリートの品質は、計画した所要の品質を満足するものであった。

謝辞

再生粗骨材コンクリートを建築構造物に適用するに当たり、高品質再生粗骨材の製造、再生粗骨材コンクリートの製造・施工及び品質管理方法等に指導を受けた『再生粗骨材利用検討委員会』（委員長：京都大学名誉教授 森田司郎氏）の委員・幹事各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 早川光敬, 丸嶋紀夫: コンクリート解体材の骨材への再利用技術—製造方法の異なる再生骨材を用いたコンクリートの調合と物性—, 大成建設技術センター報, Vol.36, pp.01-1~01-6, 2003.