

# 論文 再生コンクリートの場所打ちコンクリート杭への適用性に関する一実験

柳 啓<sup>\*1</sup>、笠井芳夫<sup>\*2</sup>、加賀秀治<sup>\*3</sup>、阿部道彦<sup>\*4</sup>

**要旨:** 再生コンクリート技術委員会（委員長：笠井芳夫日本大学教授）では再生コンクリートの用途開発および技術指針作成のための各種実験検討を行っている。本報告は、再生骨材を使用したコンクリートの適用性を検討すること目的に2種類の再生コンクリートを使用した場所打ちコンクリート杭の施工実験を行った結果について述べたものである。

**キーワード:** 再生コンクリート、場所打ち杭、トレミー工法、圧縮強度、弾性係数

## 1. はじめに

再生骨材をコンクリート用骨材として使用するための研究が開始されて以来四半世紀を経過した。これまでに、（社）建築業協会<sup>1)</sup>、建設省総合技術開発プロジェクト（廃棄物、発生抑制・再生利用）<sup>2)、3)</sup>、（財）東京フロンティア協会<sup>4)</sup>および建設省暫定品質基準（案）<sup>5)</sup>等の再生骨材および再生コンクリートの品質基準・使用基準が作成・制定されたが、再生コンクリートは乾燥収縮が大きくひび割れが懸念される等の理由から本格的に使用されるまでには至っていない。そこで、再生コンクリートを、これらのひび割れや凍結融解による劣化の心配がないと考えられる地中コンクリート構造物に使用することを想定し、場所打ちコンクリート杭への適用性に関する実験検討を行った。

## 2. 実験の内容

再生粗骨材と再生細骨材を使用したコンクリート（RG・RS）および再生粗骨材と陸砂を使用したコンクリート（RG・NS）の2種類の再生コンクリートを実機プラントで製造した。この再生コンクリートをアジテート車で施工現場まで運搬し、トレミー管を用いた打設を行って場所打ち杭の試験施工を行った。

## 3. 実験方法

### 3. 1 原コンクリートおよび再生骨材の製造

再生骨材は東京都江戸川区臨海町にある再生骨材プラントで製造したもので、原料は東京都内のRC構造物の解体に伴って発生したコンクリート副産物である。再生骨材の製造に当たっては一次破碎機としてジョークラッシャーを、二次および三次破碎機としてインペラブレーカーを使用した。また、再生粗骨材は微粉分および不純物を除去するために水洗処理し、細骨材は微粉分を除去するために集塵機を使用した。<sup>6)</sup>

### 3. 2 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント（比重；3.16）を使用した。骨材は表-1に示すように再生粗骨材、再生細骨材および栃木県二宮産陸砂を使用した。混和剤はAE減水剤（標準形）を、練混ぜ水は工業用水を使用した。

表-1 骨材の物理的性質

種類	粗粒率	表乾比重	吸水率(%)	洗い損失(%)
再生粗骨材	6.66	2.50	4.50	0.59
再生細骨材	2.81	2.29	11.16	4.8
普通細骨材	2.41	2.54	3.48	1.2

\*1 (財)建材試験センター中央試験所 工修（正会員）

\*2 日本大学教授 生産工学部建築工学科 工博（正会員）

\*3 東京工芸大学教授 工学部建築学科 工博（正会員）

\*4 建設省建築研究所第2研究部無機材料研究室長 工博（正会員）

表-2 再生コンクリートの調合

コンクリートの種類 記号	W/C (%)	目標スランプ (cm)	粗骨材かさ 容積m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	s/a (%)	C kg/m <sup>3</sup>	W kg/m <sup>3</sup>	S kg/m <sup>3</sup>	G kg/m <sup>3</sup>	A/E l/m <sup>3</sup>
RG・RS	50.0	18.0	0.610	42.3	380 (120)	190 (190)	614 (273)	930 (372)	5.7
			0.650	40.4	354 (112)	177 (177)	683 (269)	993 (397)	5.3

### 3.3 コンクリートの調合、練混ぜおよび運搬

コンクリートの調合は品質基準強度  $27 \text{ N/mm}^2$  (設計基準強度  $24 \text{ N/mm}^2$ ) とし、試し練りの結果得られたC/W- $\sigma$ 式 ( $\sigma_{28} = -8.23 + 20.55C/W$ ) を参考に表-2に示すように決定した。練混ぜは  $2 \text{ m}^3$  の2軸強制ミキサを使用した。コンクリートは、 $6 \text{ m}^3$  積みアジテータ車を各5台使用し、東京都江戸川区臨海町の生コンクリート工場から大田区京浜島の実験場まで運搬した。

### 3.4 杭の施工

杭径  $1 \text{ m}$  (鉄筋籠の径  $80 \text{ cm}$ )、杭長  $30 \text{ m}$  の試験杭 (杭A、杭B) をトレミニ工法により打設した。杭Aは、再生粗骨材と再生細骨材を使用したコンクリート (RG・RS) を、また、杭Bは再生粗骨材と陸砂を使用したコンクリート (RG・NS) を打設したものである。

### 3.5 実験項目

#### (1) 杭の施工状況

A杭およびB杭について、コンクリートの打設時間、打設量および安定液の状況の状況を調べた。また、コンクリート打設後の杭の内部温度の測定を行った。

#### (2) フレッシュコンクリート

再生コンクリートの出荷から荷卸までのスランプおよび空気量の経時変化と荷卸時に採取した試料を用いてブリーディング試験を行った。

#### (3) 硬化コンクリート

##### a. 管理用供試体

コンクリートの練上がり直後、プラントにおいて採取した供試体 ( $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ ) を標準水中養生を行い、荷卸時に採取した供試体は現場水中養生を行った。これらの供試体の材齢28日における単位容積質量、動弾性係数、圧縮強度および静弾性係数を試験した。

##### b. コア供試体

杭Aおよび杭Bの打設後3週間後にコンクリートコアドリルを用いて杭頭部から杭底部まで縦方向に  $30 \text{ m}$  のコアを抜き取り、コアの適当な位置から供試体を採取して、単位容積質量、密度、動弾性係数、圧縮強度および静弾性係数を測定した。また、材齢50日の時、杭頭部から約  $1.5 \text{ m}$  の深さ位置を水平方向にコア抜きを行い縦方向の場合と同様な試験を行った。

### 4. 実験結果および考察

#### 4.1 再生コンクリートの品質

##### (1) フレッシュコンクリートの性状

###### a. スランプおよび空気量の経時変化

再生コンクリートの練上がり温度は RG・RS が  $30^\circ\text{C}$ 、RG・NS が  $28^\circ\text{C}$  であり、荷卸時のコンクリート温度は約  $30^\circ\text{C}$  であった。

表-3に経時変化試験結果を示す。出荷から荷卸まで  $40 \sim 60$  分経過したがスランプは、RG・RS、RG・NSともに若干のバラツキがあるものの  $1 \text{ cm}$  程度の低下であった。また、空気量の場合も若干のバラツキはあるが  $0.5\%$  程度の低下を示した。これらのことから、運搬による再生コンクリートの性状変化は少ないと言える。

表-3 経時変化試験結果<sup>注)</sup>

柱	RG・RS			RG・NS		
	経過時間 (分)	スランプ <sup>°</sup> (cm)	空気量 (%)	経過時間 (分)	スランプ <sup>°</sup> (cm)	空気量 (%)
1	50	-0.5 (18.5)	-0.3 (4.1)	45	2.5 (17.5)	-1.2 (4.7)
2	60	1.0 (20.0)	-0.3 (3.8)	55	0 (19.5)	-0.2 (5.0)
3	55	-2.5 (20.5)	-0.6 (4.1)	55	-2.5 (19.5)	-0.6 (5.3)
4	50	-1.5 (21.0)	-0.3 (3.7)	53	0 (20.5)	-0.2 (3.8)
5	45	-1.5 (21.5)	-0.2 (3.5)	60	-2.0 (22.5)	-0.5 (3.6)

注) 表中の( )内の値は、練上がり時のスランプおよび空気量を示す。

### b. ブリーディング

再生コンクリートのブリーディング量は RG・RS が  $0.019 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 、RG・NS が  $0.036 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$  であり、再生骨材を全量使用したコンクリートが小さい値を示し既往の研究に一致した。<sup>7)</sup>

### (2) 硬化コンクリートの性質

表-4 および表-5 に管理用供試体の単位容積質量、動弾性係数、圧縮強度および静弾性係数試験結果を示す。これによると、RG・RS、RG・NSともに、各生コン車間の差は小さいが、現場水中養生圧縮強度が標準水中養生に比べ、5～10%程度大きい値を示した。これは施工実験当日の外気温が約30°Cと高かったことおよび供試体の採取時期によってコンクリート中の空気量に若干の差が出たこと等が原因と考えられる。また、RG・RS の圧縮強度の中で設計基準強度に満たないものがあるが、これは調合を決定する際の強度式(C/W- $\sigma$ 式)を試験室実験から求め、これをそのまま使用したことが原因と考えられる。

## 4. 2 杭の施工

### (1) 地盤条件

試験地は東京都大田区京浜島地内であり、1960年代に、東京湾の水深5～10m程度の部分を埋め立てた人工島である。試験杭を施工した敷地内でのボーリング調査によると、その地層構成は、概略以下のようである。

① GL-7mまで：埋め立て層

② GL-7～13m：砂質シルト層

③ GL-13～31m：粘土混り砂層

④ GL-31～34m：硬質粘土層

⑤ GL-34～39m：硬質粘土混り砂層

試験地の地層は①の埋め立て層②の軟弱シルト層および③の砂層の上部がこれに該当する。

のことより、アースドリル杭の品質を確保するという観点で試験地の地盤を考察すると、東京の下町低地および大阪市の中心部などと同等で条件的にあまりよくない範疇に入るといえる。

### (2) 杭の施工結果

#### a. 施工状況

A杭 (RG・RS) およびB杭 (RG・NS)

表-4 管理用供試体の試験結果 (RG・RS)

生コン車 No.	養生の種類	圧縮強度 $N/\text{mm}^2$	動弾性係数 $\times 10^3 N/\text{mm}^2$	静弾性係数 $\times 10^3 N/\text{mm}^2$	単位容積質量 kg/l
1	標準水中養生	24.3	22.8	18.2	2.120
	現場水中養生	25.2	21.8	18.2	2.105
2	標準水中養生	23.6	21.5	17.2	2.099
	現場水中養生	25.1	21.6	17.7	2.106
3	標準水中養生	25.3	21.8	18.0	2.102
	現場水中養生	25.5	22.1	17.6	2.095
4	標準水中養生	24.5	20.1	17.4	2.097
	現場水中養生	25.9	20.9	16.2	2.088
5	標準水中養生	24.5	22.1	17.0	2.115
	現場水中養生	26.0	23.3	17.6	2.108

表-5 管理用供試体の試験結果 (RG・NS)

生コン車 No.	養生の種類	圧縮強度 $N/\text{mm}^2$	動弾性係数 $\times 10^3 N/\text{mm}^2$	静弾性係数 $\times 10^3 N/\text{mm}^2$	単位容積質量 kg/l
1	標準水中養生	27.1	25.5	20.6	2.170
	現場水中養生	29.2	26.5	21.9	2.171
2	標準水中養生	26.5	25.7	20.5	2.162
	現場水中養生	29.3	25.7	19.3	2.159
3	標準水中養生	25.4	24.9	20.7	2.150
	現場水中養生	27.1	25.2	20.9	2.138
4	標準水中養生	26.4	24.9	20.5	2.181
	現場水中養生	29.8	25.8	21.4	2.192
5	標準水中養生	25.2	26.1	19.7	2.167
	現場水中養生	27.6	25.7	20.6	2.185

表-6 杭の施工状況

項目	A杭	B杭
削孔時間 (分)	120	87
コンクリートの打設時間 (分)	73	85
打設コンクリート量 (m <sup>3</sup> )	28.5	28.5

の施工状況を表-6に示す。これによると、試験杭の施工ということで丁寧になったためか、平均的なレベルより多少時間をかけた施工をしている。また、コンクリートの增量分は平均的である。

### b. 安定液の状況

安定液の状況を表-7に示す。この結果から

表-7 安定液の状況

項目	杭A		杭B	
	削孔前	削孔後	削孔前	削孔後
比重 (g/cm³)	1.13	1.38	1.05	1.35
粘性 (秒)	23	36	21.3	25.7
P H	-	-	9.4	8.3
砂分率 (%)	-	-	1.0	28.0

使用した安定液は、粘性およびP Hの数値から判断して劣化の進行は少ないといえる。しかしながら、コンクリート杭の出来上がり状態に影響を与える比重 (1.2 g/cm³を上限とする) と砂分率 (15%を上限とする) が(社)日本基礎建設協会で定める上限値を上回ったことから安定液の状態としては、掘削に対する安全性については問題ないが、コンクリートの品質確保という観点からは必ずしも良好であったとは言い難い。

### (3) 杭内部温度

杭内部の最高温度は杭頭部に近いG. L. から3m下がった位置で、杭Aが55℃、杭Bが53℃でいずれも打設後約24時間でピークに達した。また、G. L.からの深さ20mの最高温度は杭Aが45℃、杭Bが41℃であった。杭Aが杭Bより温度が高くなった原因是単位セメント量の影響と考えられる。

## 4. 3 抜き取りコアの性質

### (1) 縦抜きコア

コア供試体は深さ30mの場所打ち杭の中央部から抜き取り適当な間隔で、杭Aでは25本、杭Bでは、26本採取した。

### a. 単位容積質量

図-1にコアの採取位置と単位容積質量の関係を示した。杭Aの場合、コアの表面部分にジャンカ等の施工不良は見られなかった。また、単位容積質量は杭頭部が小さく杭底部が大きい傾向を示した。杭Bの場合、杭頭部から8m程度の深さで採取したコアの表面部分にジャンカが認められた。杭Bの単位容積質量は杭Aと同様に杭頭部で小さく底部で大きい傾向を示した。

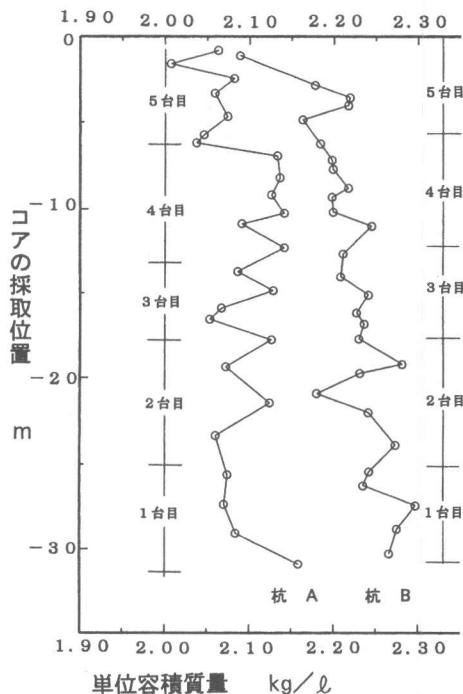


図-1 コンクリートコアの単位容積質量

### b. 圧縮強度および静弾性係数

図-2にコアの採取位置と圧縮強度および静弾性係数の関係を示した。全体的にみると、杭Aの場合は、圧縮強度および静弾性係数は杭の深さに関係なくほぼ一定の値を示しているが、杭Bの場合は杭底部が大きく頭部ほど小さくなる傾向を示した。この原因是、杭Aに打設したRG・RSは杭Bに打設したRG・NSに比べ単位セメント量が多いことおよび再生骨材を全量使用していることからコンクリートの粘性が高くなり杭の深さ方向での分離が小さくなつたためと考えられる。

### c. 杭深度とコア供試体強度の関係

図-3に(社)日本基礎建設協会が取りまとめた普通コンクリートの杭体コアの圧縮強度と採取深度との関係に今回の再生コンクリートのデータをプロットして示した。これによるとRG・RSは普通コンクリートの下位のグループに、RG・NSは平均的なグループに属しているといえる。

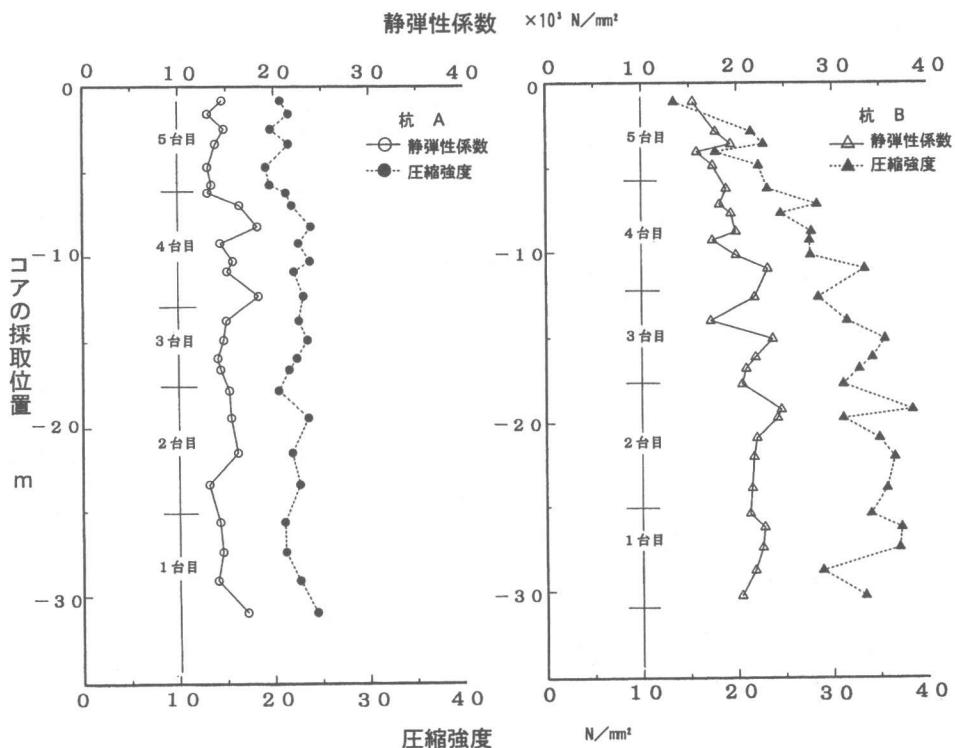


図-2 コンクリートコアの圧縮強度・静弾性係数と採取深度

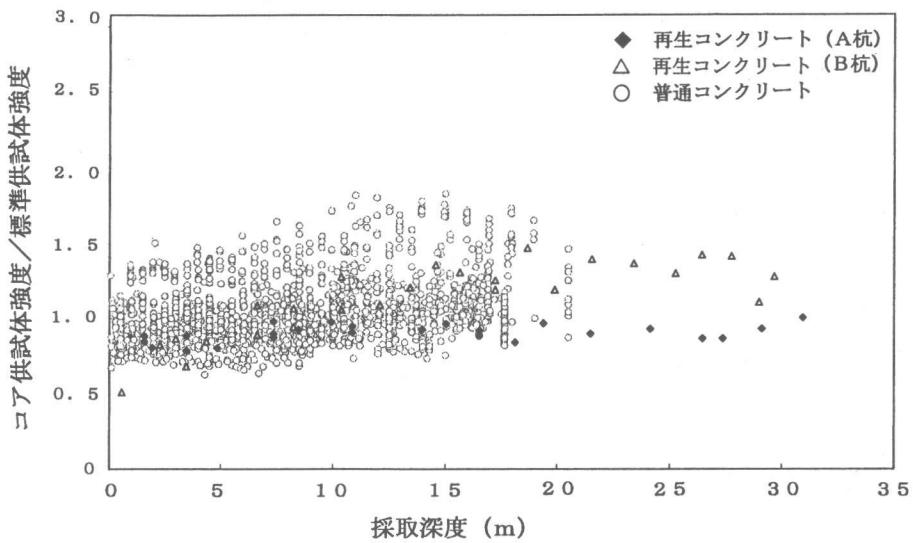


図-3 杭体コアの圧縮強度と採取深度

## (2) 横抜きコア

表-8に杭頭部から約1.5mの深さの位置で横方向に抜き取ったコアの試験結果をまとめ示す。これによると、全体的にみて杭頭部においてもRG・NSの方が強度が大きい結果とな

っている。また、鉄筋籠の外側つまりかぶり部分については、データが少なく、一部圧縮強度が小さい箇所があるが、杭体内部のコンクリートと大きく差がある結果とはなっていないものと考えられる。

表-8 横抜きコアの試験結果<sup>④</sup>

項目	杭A			杭B		
	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
単位容積質量 kg/l	2.105*	2.077*	2.090	2.196*	2.106	2.154
動弾性係数×10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup>	19.8	13.3*	17.2	25.4*	12.5*	20.7
圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	24.1*	10.6*	18.9	29.2*	21.4	25.0
静弾性係数×10 <sup>3</sup> N/mm	15.9*	11.2*	14.2	20.1*	16.1	18.2

注) \*印は鉄筋籠の外側に位置するコア。

## 5.まとめ

以上をまとめると本実験の範囲で以下のことが言えよう。

(1) 場所打ち杭に使用した再生コンクリートの圧縮強度は全体的に試し練り時の圧縮強度より小さいが運搬による性状変化が少なく、かつ、生コン車間の差が小さかった。

(2) 施工場所は、東京の下町低地に位置し、地盤があまり良くない場所であったが、普通コンクリートと同程度に再生コンクリートの場所打ち杭をトレミー工法で施工することが出来た。

(3) 再生コンクリートの杭体から採取したコアの圧縮強度は(社)日本基礎構造協会がとり

まとめた普通コンクリートの採取深度とコア圧縮強度／標準養生供試体圧縮強度との関係の範囲内にあり、再生コンクリートの杭体圧縮強度は、普通コンクリートと同様の性状を示すことが明らかになった。

## おわりに

本実験は再生コンクリート技術委員会に設置された実験WG(主査:加賀秀治東京工芸大学教授)の調査・研究として実施した。実験WG委員は次のとおりである。宮崎祐助、稻村利男、阿部道彦、佐久田昌治、原俊昭、柳啓。

## 参考文献

- 1) (財)建築業協会建設廃棄物処理再利用委員会:再生骨材および再生コンクリートの使用規準(案)同解説-添付資料-昭和52年5月
- 2) 建設省:建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業への廃棄物利用技術の開発」昭和61年11月
- 3) (財)国土開発技術研究センター:「再生コンクリートの利用技術の開発」平成8年度報告書、平成9年9月
- 4) 笠井芳夫他:世界都市博覧会「東京フロンティア」における再生コンクリート使用の現状、セメント・コンクリート No.575、PP. 10~19、1995
- 5) 河野広隆:コンクリート副産物の再利用促進にむけて、セメント・コンクリート No.572、PP. 52~55、Jan. 1994
- 6) 飛坂基夫他:実機プラントにおける再生コンクリートの製造・工程管理(その1)再生骨材の品質、日本建築学会大会(近畿)学術講演梗概集、PP. 10~19、1996. 9
- 7) 柳 啓:再生骨材を使用したコンクリート、コンクリート工学、Vol. 29、No. 7、PP. 87~90、1991