

V-22

横拘束を受ける再生骨材コンクリートの強度と変形について

函館工業高等専門学校

○正会員 今野克幸

北海道大学大学院工学研究科

正会員 佐藤靖彦

北海道大学大学院工学研究科

学生会員 藤本直史

北海道大学大学院工学研究科

正会員 上田多門

ドーピー建設工業株式会社

正会員 今村晃久

1. はじめに

再生骨材コンクリートは普通骨材コンクリートに比べて凍結融解抵抗性が劣るといわれており、この短所を補うために鋼管柱の充填材として用いることが考えられる。このような利用を行うためには、三軸応力下の再生骨材コンクリートの強度と変形を把握する必要がある。著者らのコンクリート充填鋼管柱を用いた実験¹⁾により再生骨材コンクリートを充填した鋼管柱は一軸圧縮強度が等しければ普通骨材コンクリートを充填した鋼管柱と同程度の強度が得られることが示された。しかしながら、再生骨材コンクリートのヤング係数は普通骨材コンクリートのヤング係数より小さい^{2,3)}ため、再生骨材コンクリートを鋼管柱の充填材として用いるためには、その剛性の大きさや残留変形を把握する必要がある。著者らは鋼リングで拘束した再生骨材コンクリートの円柱供試体の軸圧縮試験⁴⁾を行い、三軸応力下において再生骨材コンクリートの軸圧縮変形は普通骨材コンクリートよりも大きいことを示したが、その強度や残留変形を推定するには至らなかった。参考文献4の実験においては、再生骨材コンクリートの耐久性向上を考慮してW/Cを小さくしたため圧縮強度が約50MPaと大きくなった。本実験では、圧縮強度が約50MPaの普通骨材コンクリートと圧縮強度が約30MPaの再生骨材コンクリートを用いて横拘束を受ける円柱供試体の軸圧縮試験を行い、強度と変形について参考文献4の結果も含めて考察を行う。

表-1 使用した骨材の特性値

骨材種類	粗粒率	比重	吸水率 (%)
A(再生)	6.92	2.41	9.53
B(再生)	6.97	2.41	6.24
N(普通)	6.87	2.75	1.33

表-2 供試体諸元

供試体	コンクリートの径 D (mm)	鋼リングの厚さ t (mm)	供試体高さ H (mm)	鋼リングの高さ H' (mm)	鋼リングの数	鋼とコンクリートの体積比 p	$p f_c / 2$ (MPa)
SRB30-0	100	—	194	—	—	0	0
SRB30-5	97.0	1.5	195	14.9	8	0.0378	4.95
SRB30-10	93.8	3.1	197	15.0	8	0.0805	10.42
SN50-0	100	—	195	—	—	0	0
SN50-5	97.0	1.5	195	14.9	8	0.0378	4.95
SN50-10	93.8	3.1	195	15.0	8	0.0814	10.54

 $p f_c / 2$: 鋼材降伏時の拘束応力を表している

表-3 材料特性値

供試体	鋼材			コンクリート			
	降伏点 f_y (MPa)	ヤング係数 E_s (GPa)	ポアソン比 ν	圧縮強度 f_c (MPa)	ϵ_0 ($\times 10^{-4}$)	ヤング係数 E_c (GPa)	ポアソン比 ν
SRB30-0	—	—	—	29.0	2492	22.3	0.203
SRB30-5	262	186	0.33				
SRB30-10	259	186	0.27				
SN50-0	—	—	—	48.6	1804	34.4	0.195
SN50-5	262	186	0.33				
SN50-10	259	186	0.27				

 ϵ_0 : 一軸圧縮試験における最大応力時のひずみで、圧縮を正として表した

Study on the strength and deformation of the recycled concrete under the lateral confinement

by Katsuyuki KONNO, Yasuhiko SATO, Naohumi HUIJIMOTO, Tamon UEDA and Akihisa IMAMURA

表-4 コンクリートの配合

供試体	W/C (%)	s/a (%)	単位量(1m ³ 当たり) kgf				混和剤(cc)
			W	C	s	G	
SRB30	44.9	41.0	159	353	743	967	155
SN50	32.9	38.6	155	471	665	1091	207

表-5 拘束コンクリートの強度
($f'_c=29.0\text{MPa}$ の場合)

$pf_y/2$ (MPa)	拘束コンクリートの 強度 (MPa)		実験値 /計算値
	実験値	計算値 (CEB)	
4.95	59.8	45.0	1.33
10.42	78.1	58.7	1.33

表-6 拘束コンクリートの強度
($f'_c=48.6\text{MPa}$ の場合)

$pf_y/2$ (MPa)	拘束コンクリートの 強度 (MPa)		実験値 /計算値
	実験値	計算値 (CEB)	
4.95	97.2	67.1	1.45
10.54	111	81.1	1.37

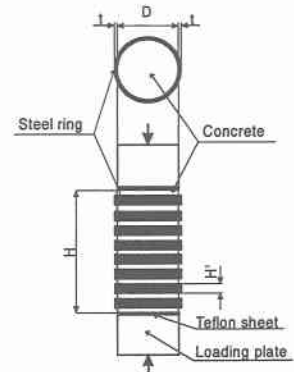
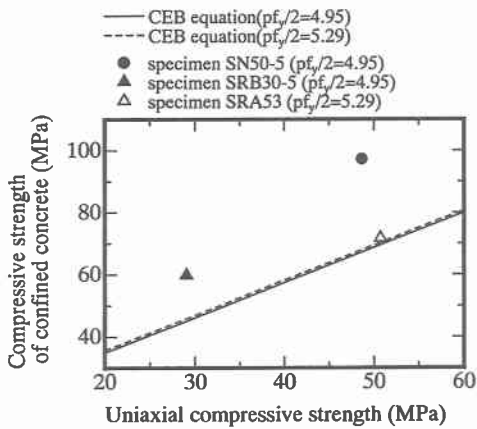
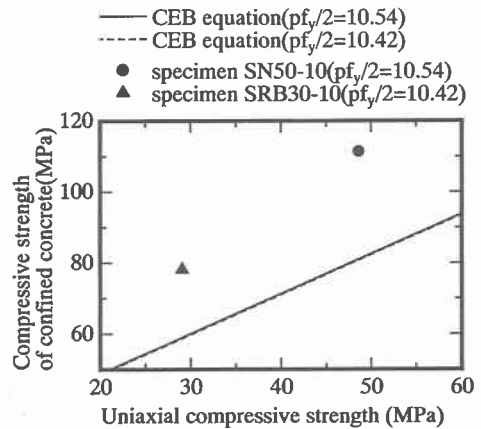


図-1 実験供試体

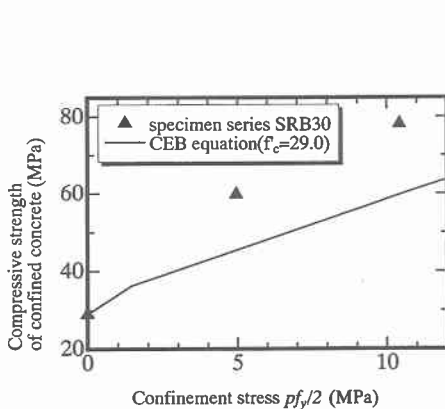


(a) 拘束応力が約5MPaの場合

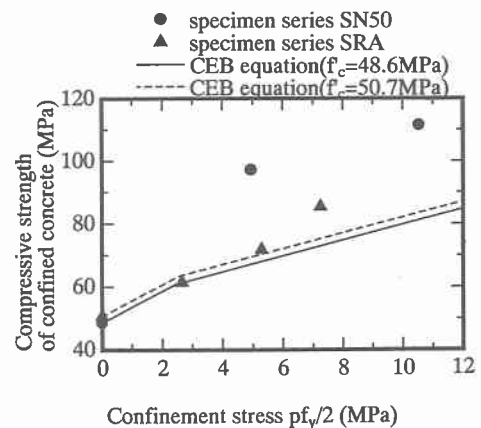


(b) 拘束応力が約10MPaの場合

図-2 一軸圧縮強度と三軸応力下の軸圧縮強度



(a) 一軸圧縮強度が29.0MPaの場合



(b) 一軸圧縮強度が約50MPaの場合

図-3 拘束応力と三軸応力下の軸圧縮強度

2. 実験概要

本実験で用いた再生骨材は表-1に示すBであり、参考文献4で用いた再生骨材はAである。それらの原コンクリートを作製した際に用いた骨材は川砂利で表-1のNである。供試体の形状および寸法は図-1と表-2に示すとおりで、コンクリートおよび鋼材の材料特性値は表-3に示すとおりである。表-4はコンクリートの配合を示しており、セメントは普通ポルトランドセメント、水は実験室の水道水を用い、供試体シリーズSN50は材令56日で、供試体シリーズSRBは材令59日で試験を行った。実験供試体のコンクリートと支圧板の間には厚さ0.1mmのテフロンシートを設置し、荷重は支圧板を介して繰り返し載荷を行った。

3. 強度増加について

図-2は一軸圧縮強度と拘束コンクリートの圧縮強度の関係を示しており、図-2(a)は拘束応力が約5MPa、図-2(b)は拘束応力が約10MPaの場合である。図中の実線と破線は実験値との比較のためCEB-FIP MODEL CODE 1990⁹⁾の帯筋で拘束されたコンクリートの強度を推定する式(式1参照)により求めた計算値であり、式中の σ_2 には表-2で示した拘束応力を代入した。なお、図-2(a)には既往の実験結果⁴⁾のデータも示した。図-3(a)と図-3(b)はそれぞれ供試体シリーズSRB30と供試体シリーズSN50について拘束応力とコンクリートの圧縮強度の関係を表しており、図-3(b)には既往の実験結果⁴⁾も示した。また、表-5,6は図-3の結果を数値として表したものである。これらより、横拘束を受ける普通骨材コンクリートの圧縮強度を推定する式を用いて横拘束を受ける再生骨材コンクリートの圧縮強度の推定を行えば安全側であるといえ、CEB式による計算値と実験値との比すなわち安全率に関しても普通骨材コンクリートと再生骨材コンクリートで大きな差異は無い。

$$\begin{aligned} f_{ck,cf} &= f_{ck} (1.000 + 5.0\sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{for } \sigma_2 < 0.05f_{ck} \\ f_{ck,cf} &= f_{ck} (1.125 + 2.50\sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{for } \sigma_2 > 0.05f_{ck} \end{aligned} \quad (1)$$

f_{ck} : コンクリートの一軸圧縮強度, σ_2 : 拘束応力, $f_{ck,cf}$: 拘束コンクリートの圧縮強度

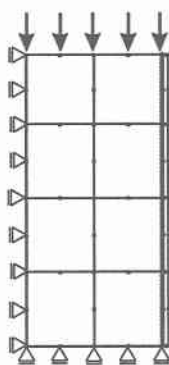


図-4 解析供試体

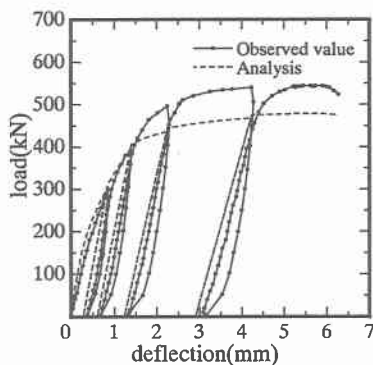


図-5 供試体SRB30-10
の荷重-変位関係

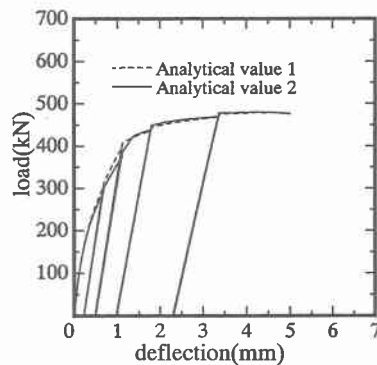


図-6 FEMによる荷重-変位関係

4. 剛性と残留変形

三軸応力下の再生骨材コンクリートの剛性と残留変形について、解析的な検討を行う。本研究では、鉄筋コンクリート構造の平面応力問題用の二次元非線形有限要素解析プログラムWCOMR⁹⁾を軸対称問題用に修正したものにコンクリートの三次元構成則である三次元弾塑性破壊モデル⁷⁻⁹⁾を導入し、これを用いた。図-4に示す解析供試体は、実験供試体と鋼材とコンクリートの体積比が等しくなるように鋼管で拘束する形式とし、鋼リングで拘束した場合と同様にコンクリートに与えられた圧縮力が鋼管に伝達されないようにコンクリートと鋼材の境界面の付着をゼロとした。図-5は供試体SRB30-10の荷重-変位関係を示している。

解析供試体は実験供試体に比べ早い段階で鋼材が降伏し耐力が小さいが、内部曲線の剛性と残留変形はほぼ正確にとらえている。これより、再生骨材コンクリートについて三軸応力下における普通骨材コンクリートの構成則が適用可能であると考えられる。

本実験で用いた再生骨材コンクリートの圧縮強度とヤング係数はそれぞれ表-3 に示したとおり 29.0MPa と 22.3GPa であるが、普通コンクリートであれば圧縮強度が 29.0MPa に対してヤング係数は約 28GPa である¹⁰⁾。再生骨材コンクリートと普通骨材コンクリートのヤング係数の比を n とすると $n=0.797$ となる。図-6 の解析値 1 は図-5 で示した供試体 SRB30-10 の解析値の変位を 0.797 倍したもので、解析値 2 は供試体 SRB30-10 の解析入力データについてコンクリートのヤング係数を 28GPa としたものである。二つの解析値はほぼ一致しており、荷重-変位曲線について再生骨材コンクリートの変位を n 倍すると普通骨材コンクリートのそれに一致することを示している。本研究では、再生骨材コンクリートの供試体シリーズ SRB と同一強度の普通骨材コンクリートの実験結果が得られなかったため、図-6 に示したように解析値同士の比較を行っており実験値による比較を行っていない。しかしながら、参考文献 9) において、一軸圧縮強度が 29MPa の普通コンクリートを用い鋼材降伏時の拘束応力 $p_f/2$ が 3.40 から 12.0MPa の範囲で繰り返し載荷を行い、本研究に用いた構成則の適用性が検証されている。したがって、図-6 における比較を実験値同士で行っても概ね同様の結果を得るものと思われる。以上より、一軸圧縮強度が等しい場合の再生骨材コンクリートと普通骨材コンクリートの比較において、横拘束を受けるときの軸圧縮剛性と残留変形は横拘束の無い場合のヤング係数比に等しくなると考えられる。

5. まとめ

- 1) 横拘束を受ける再生骨材コンクリートの圧縮強度は普通骨材コンクリートと同等であることが確認された。
- 2) 一軸圧縮強度の等しい再生骨材コンクリートと普通骨材コンクリートのヤング係数比を考慮することによって横拘束を受ける再生骨材コンクリートの軸圧縮剛性および残留変形を推定することが可能であることを解析的検討により示した。

参考文献

- 1) 翁長昌章, 今野克幸, 佐藤靖彦, 今村晃久, 角田興史雄: 再生骨材を用いたコンクリート充填鋼管柱の力学的特性について, 土木学会北海道支部論文報告集, 1998.2
- 2) 南波篤志, 阿部道彦, 棚野博之, 前田弘美: 再生コンクリートの品質改善に関する実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.65~70, 1995.6
- 3) 今野克幸, 佐藤靖彦, 上田多門, 翁長昌章: 横方向拘束を受ける再生骨材コンクリートの力学的特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, 1998
- 4) 今野克幸, 佐藤靖彦, 翁長昌章, 今村晃久: 拘束下における再生骨材コンクリートの強度増加について, 土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集, 第 5 部, 1998.10
- 5) CEB-FIP MODEL CODE 1990
- 6) Ueda, T., Nares Pantaratorn and Sato. Y.: Finite Element Analysis on Shear Resisting Mechanism of Concrete Beams with Shear Reinforcement, 土木学会論文集, No.520/V-28, pp.273~286, 1995 年 8 月
- 7) Maekawa, K., Takemura, J., Irawan, P., and Irie, M.: Continuum fracture in concrete nonlinearity under triaxial confinement, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, No.460/V-18, pp.113~122, February 1993.
- 8) Maekawa, K., Takemura, J., Irawan, P., and Irie, M.: Plasticity in concrete nonlinearity under triaxial confinement, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, Vol.18, No.460, pp.123~130, February 1993.
- 9) Maekawa, K., Takemura, J., Irawan, P., and Irie, M.: Triaxial elasto-plastic and fracture model for concrete, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, Vol.18, No.460, pp.131~138, February 1993.
- 10) 土木学会: コンクリート標準示方書「設計編」, 平成 8 年