

再生 RC はりのせん断性状に及ぼす再生骨材の品質および乾燥収縮の影響

広島大学大学院  
宇部興産株式会社  
名古屋大学大学院  
広島大学大学院

学生会員  
正会員  
正会員  
正会員

○赤對 英彦  
桐山 宏和  
丸山 一平  
佐藤 良一

1.背景と目的

再生骨材の利用範囲拡大のために、構造用材料としての再利用技術が強く求められている。既往の研究<sup>(1)</sup>により再生RC部材のせん断性状が明らかにされつつあるが、再生骨材の相違からの検討は十分でない。そこで本研究では 3 種類の品質の異なる再生骨材を用いたRCはりのせん断性状を普通RCのせん断性状と比較しつつ、乾燥収縮の観点から検討した。

2.実験概要

本研究では下記に示す 3 種類の再生骨材を用いて RC はりを作製し、せん断性状について検討を行った。養生条件は湿潤養生と乾燥養生の 2 種類を行う。乾燥養生とは材齢 7 日までは湿潤養生を行い、それ以降は室内に気中曝露することを指す。

- ・ ケース 1：原コンクリートを打設、作製した再生骨材
- ・ ケース 2：電力施設大断面構造物解体再生骨材
- ・ ケース 3：建築構造物から製造された再生骨材

表-1 に各ケースの骨材の品質について示す。密度が大きく、吸水率が小さいと品質が良いとされるが、表を見ると、ケース 1 で品質が良く、ケース 3 で品質が悪いといえる。このような違いは、原コンクリートの品質管理の違いにより生じると考えられる。表-2 に作製した RC はりの概要を示す。

3.結果と考察

3.1 強度特性

図-1～図-3 にそれぞれ載荷時材齢の各種強度を養生条件の相違も踏まえて示す。これより骨材品質の低いケース 3 において強度が普通およびケース 1 に比べ低下していることが分かる。ゆえに骨材品質が強度に大きな影響を及ぼすことが分かる。

また乾燥養生供試体は湿潤養生供試体に比べ、ヤング係数が低下していることが分かる。これは再生骨材の吸水率が大きく余剰水を多く含むため、乾燥により水分が逸散した場合、内部空隙が増加するためヤング係数が低下したと考えられる。

3.2 せん断強度

図-4 (a) にせん断強度の実測値と計算値 (二羽式<sup>(2)</sup>) の関係を示す。これを見ると普通骨材およびケース 1 で安全側に評価でき、ケース 2, 3 で計算値が実測値を過大評価することが分かる。これより、骨材の品質がせん断強度に大きな影響を及ぼすといえる。そこで各ケースごとに下限値の低減係数の検討を行った。普通RCの回帰直線に対しての低減係数はケース 3 で最も小さく、湿潤で 0.72, 乾燥で 0.68 となった。この値はケース 2 のせん断試験をもとに設定された土木学会の設計指針案の低減係数(湿

キーワード：再生骨材，RC せん断部材，骨材品質，乾燥収縮，寸法効果

連絡先：〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科構造材料研究室 TEL082-424-7786

表-1 骨材の品質一覧

|       |      | 表乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 絶乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率(%) |
|-------|------|------------------------------|------------------------------|--------|
| 普通粗骨材 |      | 2.66                         | 2.64                         | 0.69   |
| 再生粗骨材 | ケース1 | 2.41                         | 2.29                         | 6.13   |
|       | ケース2 | 2.45                         | 2.32                         | 5.57   |
|       | ケース3 | 2.38                         | 2.23                         | 6.84   |
| 普通細骨材 |      | 2.63                         | 2.56                         | 2.63   |
| 再生細骨材 | ケース1 | 2.32                         | 2.11                         | 9.94   |
|       | ケース2 | 2.3                          | 2.07                         | 11.21  |
|       | ケース3 | 2.25                         | 2.01                         | 11.86  |

表-2 供試体概要一覧

|      | 幅<br>mm | 有効高さ<br>mm | せん断スパン長<br>mm | 引張鉄筋比<br>% | 圧縮鉄筋比<br>% | せん断補強筋比<br>% |
|------|---------|------------|---------------|------------|------------|--------------|
| ケース1 | 150     | 160        | 250           | 2.39       | -          | -            |
|      | 150     | 160        | 500           | 2.39       | -          | -            |
|      | 150     | 160        | 700           | 2.39       | -          | -            |
| ケース2 | 150     | 160        | 500           | 4.22       | -          | -            |
|      | 150     | 160        | 500           | 4.22       | -          | 0.53         |
|      | 150     | 335        | 1050          | 4.03       | -          | -            |
| ケース3 | 150     | 335        | 1050          | 4.03       | -          | 0.26         |
|      | 150     | 160        | 500           | 2.39       | 0.59       | -            |
|      | 150     | 160        | 500           | 2.39       | 0.59       | 0.53         |
|      | 150     | 350        | 1050          | 1.93       | 0.27       | -            |
|      | 150     | 350        | 1050          | 1.93       | 0.27       | 0.34         |

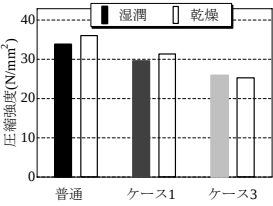


図-1 圧縮強度

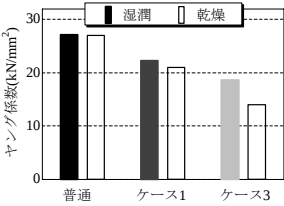


図-2 ヤング係数

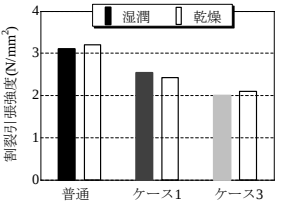


図-3 割裂引張強度

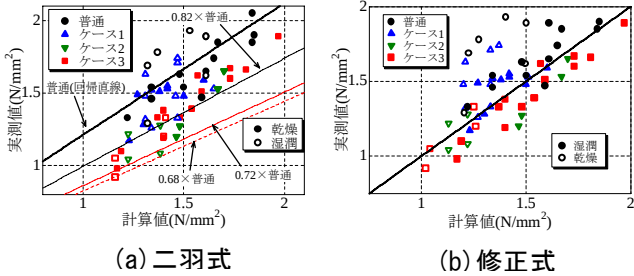
潤:0.8, 乾燥:0.7)を下回った。ゆえに建築物解体再生骨材は既存の設計指針に適用できないことが分かった。

また乾燥収縮が生じるとはり下縁コンクリートに引張応力が生じるため、ひび割れ幅が増加し骨材のかみ合い等のせん断抵抗が低下すると考えられる。その低下を鉄筋比の低下と等価であるとする等価鉄筋比の概念により二羽式を式(1)のように修正した。

$$V_c = 0.2 f'_c{}^{1/3} (100 k_s p_w)^{1/3} d^{-1/4} (0.75 + 1.4/(a/d)) b_w d \quad (1) \quad \text{ここで } k_s = \varepsilon_{s,load} / (\varepsilon_{s,load} - \varepsilon_{s0,sh})$$

$f'_c$ :圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)    $p_w$ :引張鉄筋比    $d$ :有効高さ(m)    $a$ :せん断スパン長(mm)    $b_w$ :はり幅(mm)  
 $\varepsilon_{s,load}$ :引張鉄筋応力がゼロ状態からのせん断スパン中央の鉄筋ひずみの変化量  
 $\varepsilon_{s0,sh}$ :引張鉄筋位置のコンクリート応力がゼロ状態のときの引張鉄筋ひずみ

図-4(b)にせん断強度の実測値と修正式(式(1))との関係を示す。これより、普通骨材およびケース1において計算値が実測値を過小評価する傾向にあるが、ケース2,3においては相関性の向上が見られた。ゆえに骨材品質が高い場合、乾燥収縮が生じてもせん断強度の低下をもたらすほどの影響が表れないこと分かる。



3.3 破壊力学的アプローチによる寸法効果の検討

Gustafssonら<sup>(3)</sup>の手法をもとに寸法効果の検討を行った。図-5～図-7にそれぞれ各ケースごとの検討結果を示し、表-3に有効高さdに対して回帰した指数と相関係数の一覧を示す。また等価鉄筋比を用いることで、乾燥収縮が寸法効果に与える影響についても検討した。普通RCに関しては、供試体数が少ないことを考慮すれば、概ねdの-1/4乗に比例することが分かる。これに対し、再生RCの寸法効果は湿潤で約-1/3乗、乾燥で約-1/2乗則に従い、普通RCと比べ寸法効果が鋭くなった。これは再生コンクリートの破壊エネルギーが0.127N/mmと普通コンクリートの0.169N/mmに比べて小さいためだと考えられる。等価鉄筋比を用いた場合、実鉄筋比と比べ指数に変化はなく、乾燥収縮が寸法効果に影響を与えないことが分かる。ゆえに乾燥供試体で寸法効果が大きくなったのは、乾燥養生コンクリートのヤング係数の低下による特性長さ $l_{ch}$ の低下が原因だと思われる。

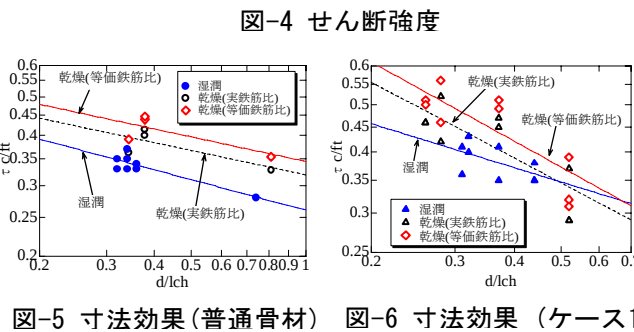


図-5 寸法効果(普通骨材)   図-6 寸法効果(ケース1)

4.まとめ

- 1) 再生骨材の品質がコンクリートの各種強度に影響を及ぼすことがわかり、乾燥養生を行ったコンクリートはヤング係数に関して低下が見られた。
- 2) 乾燥収縮がせん断強度に及ぼす影響を検討した結果、品質の低い再生骨材において乾燥収縮の影響を評価できた。また、骨材品質がせん断強度に大きな影響を及ぼすことが分かり、建築構造物解体再生骨材を用いた場合、既存の設計指針には適用できないことが分かった。
- 3) 再生RCの寸法効果は大きくなることがわかり、特に乾燥RCにおいて有効高さの-1/2乗に比例した。

参考文献

1) 例えば、土木学会：電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案)  
2) 二羽淳一郎，山田一字，横沢和夫，岡村甫:せん断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，Vol.372，V-5，pp.167-176，1986  
3) Gustafsson,P.J. and Hillerborg,A.:Sesitivity in shear strength of Longitudinally Reinforced Concrete Beams to Fracture Energy of Concrete, ACI Structual Journal, May-June,pp.286-294

表-3 相関係数一覧

|      |      | 湿潤     | 乾燥<br>(実鉄筋比) | 乾燥<br>(等価鉄筋比) |
|------|------|--------|--------------|---------------|
| 普通   | 指数   | -1/3.9 | -1/4.9       | -1/4.9        |
|      | 相関係数 | 0.85   | 0.75         | 0.75          |
| ケース1 | 指数   | -1/3.3 | -1/1.9       | -1/1.9        |
|      | 相関係数 | 0.57   | 0.80         | 0.82          |
| ケース3 | 指数   | -1/3.8 | -1/2.6       | -1/2.6        |
|      | 相関係数 | 0.63   | 1.00         | 1.00          |

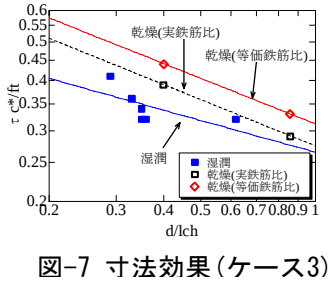


図-7 寸法効果(ケース3)