

ビニロン繊維が添加された低品質再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度 — その5 付着割裂強度の算定 —

日大生産工 ○師橋 憲貴

日大生産工（院） 日野 優輝

株式会社クラレ 小川 敦久

1. はじめに

重ね継手は周囲のコンクリートを介して互いに鉄筋の応力を伝達する¹⁾ことから、ここではビニロン繊維が添加された低品質再生骨材コンクリートを介する際の重ね継手の付着割裂強度について既往の付着割裂強度算定式により比較検討を行った。既往の付着割裂強度算定式は通常の定着鉄筋の付着割裂強度を重ね継手に応用した藤井・森田式¹⁾および普通強度コンクリートから 60N/mm² 級の高強度コンクリートまでを対象とした重ね継手の付着割裂強度を算定する筆者らの式²⁾を扱った。

2. 藤井・森田式による付着割裂強度の算定

文献 1)では普通コンクリートを用いた実験により付着割裂強度算定式を誘導している。重ね継手の破壊形状は定着鉄筋の破壊形式と同一であり、文献 1)の藤井・森田による付着割裂強度算定式は主筋の本数を重ね継手組数に置き換え、側面かぶり厚さは最外縁の主筋に対するコンクリート側面までの値を用いて算定している。ここでは低品質再生骨材コンクリートを用いた梁部材における付着割裂強度の算定に付着割裂強度算定式の適用を試み、計算値 $F_{Tu\text{ cal.}}$ を求めて実験値との比較を行う。付着割裂強度の計算値は、文献 1)の付着割裂強度算定式の主筋とコンクリートの付着状態を下端筋の場合として用いた。また、付着割裂破壊の破壊形式を判定する尺度 b_i には V-ノッチスプリット b_{vi} 、コーナー

スプリット b_{ci} 、サイドスプリット b_{si} があるが、梁部材の断面中に重ね継手組数が混んで配筋される場合にはサイドスプリット型の破壊形式になることから b_{si} を採用した。式(1)～(3)に従来の単位で代入を行い、計算結果を SI 単位に換算して付着割裂強度を求めた。

$$F_{Tu\text{ cal.}} = F_{Tco} + F_{Tst} \quad (1)$$

$$F_{Tco} = (0.375 b_{si} + 0.521) \sqrt{\sigma_B} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (2)$$

$$b_{si} = \frac{b}{N \cdot d_b} - 1 \quad (3)$$

ここで d_b : 主筋径 (mm) b : 梁幅 (mm)

N : 重ね継手組数

σ_B : コンクリート強度 (kgf/cm²)

F_{Tst} : 横補強筋による付着割裂強度増分
(本研究では、重ね継手部に横補強筋を配筋していないので考慮しない)

表-1 に藤井・森田式による付着割裂強度の計算値を示す。

図-1 および図-2 に付着割裂強度の実験値 $\tau_{u\text{ exp.}}$ を計算値 $F_{Tu\text{ cal.}}$ で除した付着強度比 $\tau_{u\text{ exp.}}/F_{Tu\text{ cal.}}$ を示す。図-1 の 5 週時と図-2 の 1 年経過時はともに実験値が計算値を上回り、付着強度比 $\tau_{u\text{ exp.}}/F_{Tu\text{ cal.}}$ は 5 週時および 1 年経過時は平均でそれぞれ 1.32 および 1.23 となり安全側に大きい値となった。また図-3 に $\tau_{u\text{ exp.}}$ と $F_{Tu\text{ cal.}}$ の関係を示す。概ね黒塗りマークの 1 年経過時の実験値 $\tau_{u\text{ exp.}}$ は白抜きマークの 5 週時よりも大き

表-1 藤井・森田式による計算値一覧

試験体名	材齢	$\tau_{u \text{ exp.}}$ (N/mm ²)	$F\tau_{u \text{ cal.}}$ (N/mm ²)	$\frac{\tau_{u \text{ exp.}}}{F\tau_{u \text{ cal.}}}$
1) 00	5週時	3.03	2.45	1.24
2) 00V		3.15	2.43	1.30
3) 00K	1年経過時	3.32	2.79	1.19
4) 00VK		3.30	2.75	1.20
5) 500	5週時	3.05	2.30	1.33
6) 500V		3.09	2.22	1.39
7) 500K	1年経過時	3.21	2.55	1.26
8) 500VK		3.21	2.52	1.28
9) 3015	5週時	3.02	2.33	1.30
10) 3015V		3.23	2.40	1.34
11) 3015K	1年経過時	3.24	2.62	1.24
12) 3015VK		3.37	2.73	1.23

$\tau_{u \text{ exp.}}$: 付着割裂強度実験値

$F\tau_{u \text{ cal.}}$: 付着割裂強度計算値

く、実験値 $\tau_{u \text{ exp.}}$ は計算値 $F\tau_{u \text{ cal.}}$ よりも 1.2～1.4 倍の値となっていることが分かる。今回の実験では重ね継手長さなど鉄筋の配筋による条件が全梁部材で同一であるため計算値 $F\tau_{u \text{ cal.}}$ を求める際はコンクリート強度のみが異なる値で代入されている。5 週時および 1 年経過時ともに低品質再生骨材コンクリートを用いた梁部材の付着強度比 $\tau_{u \text{ exp.}} / F\tau_{u \text{ cal.}}$ は普通コンクリートの梁部材（図中○●印）に比較して概ね同等以上となった。このことよりコンクリート強度の発現に起因する梁部材としての付着割裂強度の大きさの関係から低品質再生骨材コンクリートを用いた梁部材においても付着割裂強度算定式は適用の可能性があるものと考ええる。また 1 年経過時では付着強度比 $\tau_{u \text{ exp.}} / F\tau_{u \text{ cal.}}$ の平均が 5 週時と比較して 0.09 小さいことから、コンクリート強度は 5 週時から 1 年経過時に平均で 28% 程上昇したが、梁部材の付着割裂強度の増加は平均で 6% 程でありコンクリート強度の上昇に比べて少なかったものと判断できる。

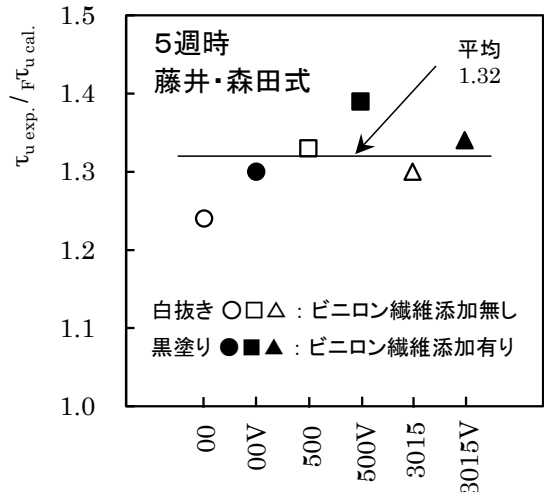


図-1 $\tau_{u \text{ exp.}} / F\tau_{u \text{ cal.}}$ (5 週時)

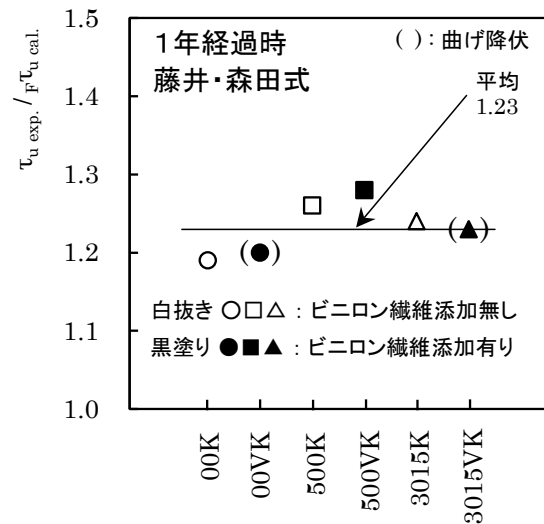


図-2 $\tau_{u \text{ exp.}} / F\tau_{u \text{ cal.}}$ (1 年経過時)

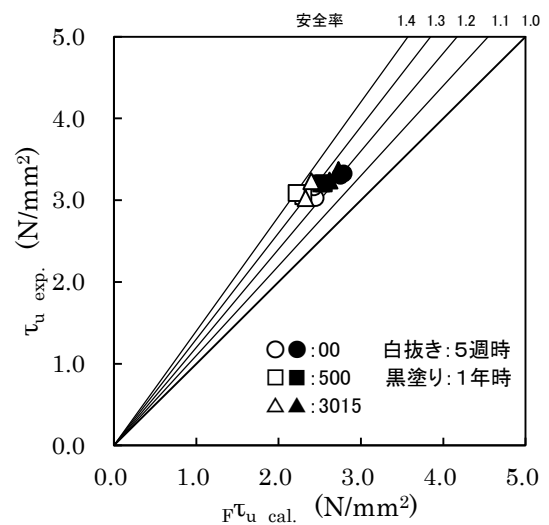


図-3 $\tau_{u \text{ exp.}}$ と $F\tau_{u \text{ cal.}}$ の関係

3. 筆者らの式による付着割裂強度の算定

次に筆者らの付着割裂強度算定式の適用を試み、計算値 $M\tau_{u\text{ cal.}}$ を求めて実験値との比較を行う。筆者らは文献 2)において 60N/mm^2 級の高強度コンクリートまでを対象とし、重ね継手長さの影響および重ね継手の空き間隔の影響を考慮した付着割裂強度算定式を誘導している。式 (4)～(6)は梁部材下端筋のサイドスプリット型の破壊形式を対象とした筆者らの付着割裂強度算定式である。

$$M\tau_{u\text{ cal.}} = M\tau_{co} + M\tau_{st} \quad (4)$$

$$M\tau_{co} = (0.12 + 0.07b_{si} + 5.54 \frac{l_s}{d_b}) \sqrt{f_{OB}} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5)$$

$$b_{si} = \frac{b - \sum d_b}{\sum d_b'} - 1 \quad (6)$$

ここで l_s : 重ね継手長さ (mm)

d_b : 主筋径 (mm)

f_{OB} : コンクリート強度 (N/mm²)

$\sum d_b$: 重ね継手の主筋の直径の総和

(重ね継手の主筋 1 組は 2 本と数える)

$\sum d_b'$: 重ね継手の外側での主筋の直径の総和

(重ね継手の主筋 1 組は 1 本と数える)

$M\tau_{st}$: 横補強筋による付着割裂強度増分

(本研究では、重ね継手部に横補強筋を配筋していないので考慮しない)

表-2 に筆者らの式による付着割裂強度の計算値を示す。図-4 および図-5 に付着割裂強度の実験値 $\tau_{u\text{ exp.}}$ を計算値 $M\tau_{u\text{ cal.}}$ で除した付着強度比 $\tau_{u\text{ exp.}} / M\tau_{u\text{ cal.}}$ を示す。図-4 の 5 週時と図-5 の 1 年経過時はともに実験値が計算値を上回り、付着強度比 $\tau_{u\text{ exp.}} / M\tau_{u\text{ cal.}}$ は 5 週時および 1 年経過時は平均でそれぞれ 1.52 および 1.42 となり安全側に大きい値となった。2 章で示した藤井・森田式による付着強度比 $\tau_{u\text{ exp.}} / F\tau_{u\text{ cal.}}$ は 5 週時および 1 年経過時は平均でそれぞれ 1.32 および 1.23 であったので、筆者らの式による付着強度比は 0.2 ほど高いことが分かる。このことは、筆者らが誘導した付着割裂強度算定式は 60N/mm^2 級のコンクリート強度までを対象と

表-2 筆者らの式による計算値一覧

試験体名	材齢	$\tau_{u\text{ exp.}}$ (N/mm ²)	$M\tau_{u\text{ cal.}}$ (N/mm ²)	$\frac{\tau_{u\text{ exp.}}}{M\tau_{u\text{ cal.}}}$
1) 00	5週時	3.03	2.12	1.43
2) 00V		3.15	2.10	1.50
3) 00K	1年経過時	3.32	2.42	1.37
4) 00VK		3.30	2.38	1.38
5) 500	5週時	3.05	1.99	1.53
6) 500V		3.09	1.92	1.61
7) 500K	1年経過時	3.21	2.21	1.45
8) 500VK		3.21	2.18	1.47
9) 3015	5週時	3.02	2.02	1.50
10) 3015V		3.23	2.08	1.55
11) 3015K	1年経過時	3.24	2.27	1.43
12) 3015VK		3.37	2.37	1.42

$\tau_{u\text{ exp.}}$: 付着割裂強度実験値

$M\tau_{u\text{ cal.}}$: 付着割裂強度計算値

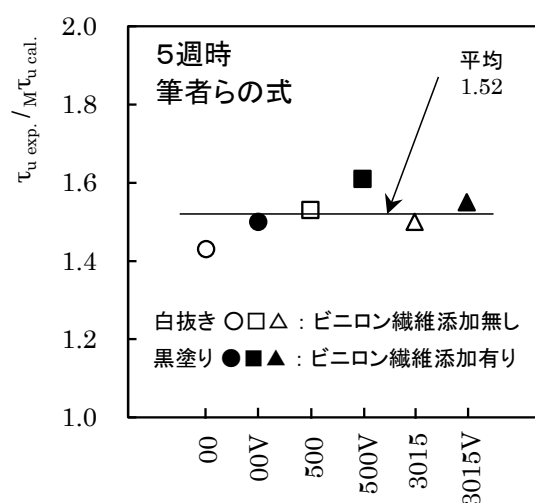


図-4 $\tau_{u\text{ exp.}} / M\tau_{u\text{ cal.}}$ (5 週時)

しているため、本実験のコンクリート強度 ($19.0 \sim 30.1\text{N/mm}^2$) に対しては計算値を過小評価したものとする。また図-6 に $\tau_{u\text{ exp.}}$ と $M\tau_{u\text{ cal.}}$ の関係を示す。実験値 $\tau_{u\text{ exp.}}$ は計算値 $M\tau_{u\text{ cal.}}$ よりも 1.3～1.6 倍の値となり、図-3 に示した藤井・森田による付着割裂強度算定式と比較して安全率が高くなっていることが分かる。

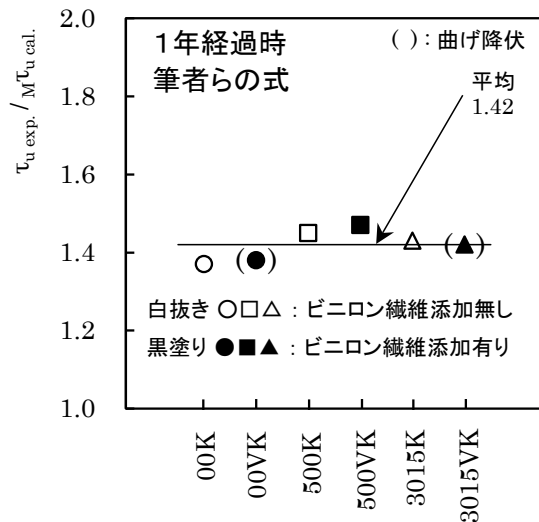


図-5 $\tau_{u \text{ exp.}} / M\tau_{u \text{ cal.}}$ (1年経過時)

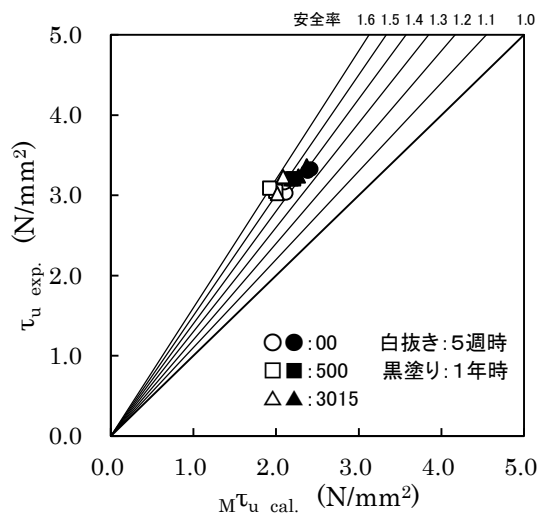


図-6 $\tau_{u \text{ exp.}}$ と $M\tau_{u \text{ cal.}}$ の関係

今後は再生骨材コンクリートの置換率にともなう単位容積質量 r の違いや、ビニロン繊維の径および長さなどの形状並びに添加量など強度特性に及ぼす諸原因³⁾をどのように付着割裂強度算定式に盛り込むことができるのか検討する必要がある。

4. まとめ

ビニロン繊維が添加された低品質再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度について既往の付着割裂強度算定式により計算値を求め実験値と比較した結果、本検討の範囲内で以下に示

す知見が得られた。

- (1) 既往の藤井・森田式および筆者らの式は、低品質再生骨材コンクリートを用いた梁部材の付着割裂強度の算定に対して概ね適用の可能性を有していた。
- (2) 筆者らの付着割裂強度算定式は実験値を計算値で除した付着強度比が藤井・森田式に比較して大きくなり、計算値を過小評価する傾向が認められた。

謝辞

本研究は、日本大学生産工学研究所所管大型機器備品 構造物試験機自動計測制御システムを用いて行った。また、平成 26-28 年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(C), 課題番号 26420562, 代表者：師橋憲貴）の助成を受けたものである。本研究の低品質再生骨材を用いたコンクリートに関しては東京建設廃材処理協同組合 葛西再生コンクリート工場をはじめ、混和剤メーカーの F 社にご協力を頂いた。本研究に際し、平成 22 年度から 4 年間に渡り設置された日本建築学会 材料施工委員会 再生骨材コンクリート研究小委員会(委員長 東京大学 野口貴文博士)の委員諸氏からは貴重なご助言を頂いた。関係各位に記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 藤井栄, 森田司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究—第 2 報付着割裂強度算定式の提案—, 日本建築学会論文報告集, 1983.2, No.324, pp.45—53
- 2) 師橋憲貴, 桜田智之：60MPa 級の高強度コンクリートを用いた重ね継手の付着割裂強度に関する研究, コンクリート工学論文集, 第 11 巻第 1 号, pp.9—18, 2000.1
- 3) 住学, 竹内博幸, 中出睦, 谷垣正治：ビニロン繊維補強コンクリートに関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, pp. 257—262, 2003