

論文

[2022] RC はりのせん断破壊性状に及ぼすダボ作用と付着作用の影響に関する実験

伊部創一*1・小林克巳*2

1. はじめに

鉄筋コンクリート部材のせん断破壊機構はさまざまな因子の影響を受けるため複雑であり、まだ不明な点が多い。その要因の一つである鉄筋とコンクリートとの付着性状が復元力特性や破壊性状に大きな影響を及ぼすと考えられ、付着性状を単純化して表現したトラスモデルを用いて解析を行った [1]。本研究においては、せん断補強筋の降伏、ダボ作用などによる付着性状の劣化を考慮できるなど、より実状に近い解析モデルで付着性状の部材全体に及ぼす影響について解析を行った。また、実際に主筋の付着性状を変化させて実験を行った。

2. 解析

図1に修正した解析モデルを示す。節点A, B, C, Dで構成されるコンクリートトラスは、アーチ作用によるせん断力の伝達を表現するもので、その他の要素は、主筋およびせん断補強筋から構成されるはり機構を表現するものである。コンクリートトラスと主筋要素の間には図2に示す境界要素として主筋に沿うひび割れを表現するバネと、図3に示す付着剛性(K_H)を持つバネを設置する。この付着を表現するバネが τ_{max} に達した場合には、その応力を保持するがひび割れが開口した場合には付着劣化時剛性($\beta \cdot K_H$)を与え付着の劣化を表現するものとする。 $\Delta\tau$ は、 τ_{max} とひび割れ発生直前の付着応力度の影響を受けるものとする。表1に各要素の諸元を示す。各要素の断面積は文献[2]に準じて決定した。このモデルを用いてせん断補強筋量を変えて解析を行った場合の $\tau_u \sim Pw \cdot w \sigma_y$ の関係を図4に示す。

表1 各要素の諸元

要素	E (t/cm ²)	A (cm ²)	I (cm ⁴)
A-E, B-F	2000	8.5	18.0
E-G, F-H	2000	8.5	∞
A-C, B-D	200	40.0	∞
C-B, D-A	200	40.0	0.0
C-D	200	320.0	0.0
E-B, F-A	200	40.0	0.0
Shear Reinf.	2100	0.56	0.0

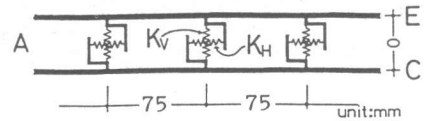


図2 境界要素

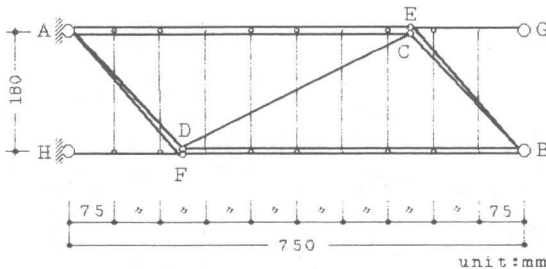


図1 トラスモデル

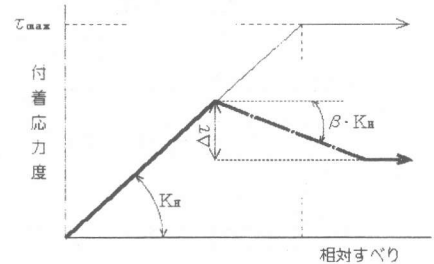


図3 水平方向の境界要素特性

*1 三谷商事(株)新事業開発部、工修(正会員)

*2 福井大学環境設計工学科教授、工博(正会員)

表2 解析結果

モデル	K_H (t/cm ²)	β	τ_{max} (kg/cm ²)	せん耐力 (ton)
標準	10.0	0.2	50.0	8.72
付着なし	0.0	-	-	6.90
初期付着小	5.0	-	50.0	12.62
初期付着中	10.0	-	50.0	12.90
初期付着大	20.0	-	50.0	13.04
付着劣化なし	10.0	0.0	50.0	9.36
付着劣化大	10.0	1.0	50.0	8.49

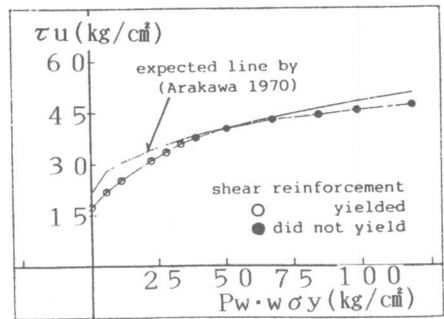


図4 $\tau u \sim Pw \cdot w \sigma y$ 関係

解析結果は図中の荒川式(mean)とも比較的一致しており、解析結果は一般的なせん断性状を示していると考えられる。

次に付着性状をそれぞれ変化させて解析を行った。解析結果を表2に示す。標準タイプに対し、付着なしのもの、初期付着剛性を変化させたもの（初期付着剛性の影響を検討するため、ひび割れ後も付着劣化しない完全付着としたもの）、付着劣化時剛性を変化させたもの、について解析を行った。この解析結果から付着作用が全くない場合には、極端にせん断耐力が小さくなるが、ある程度の付着作用がある場合には、大きな影響を与えないことが示された。また、付着劣化時剛性はせん断耐力に影響を与えるが、付着劣化を防止すればせん断耐力の上昇が期待できる。

3. 実験

3.1 実験概要

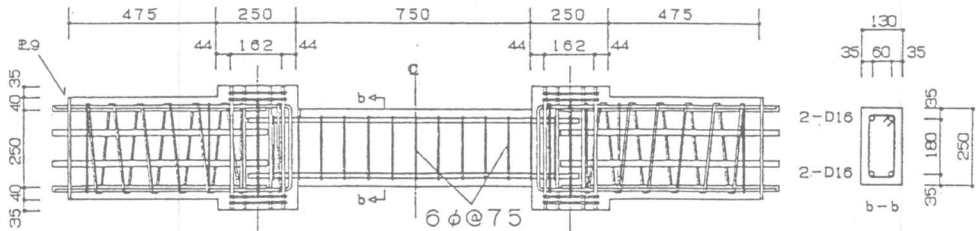


図5 試験体配筋図

表3 試験体一覧

B-1シリーズ $w \sigma y : 1793.2 \text{ kg/cm}^2$	B-2シリーズ $w \sigma y : 5384.6 \text{ kg/cm}^2$
主筋: B-1-0	主筋: B-2-0
主筋: B-1-1	主筋: B-2-1
主筋: B-1-2	主筋: B-2-2

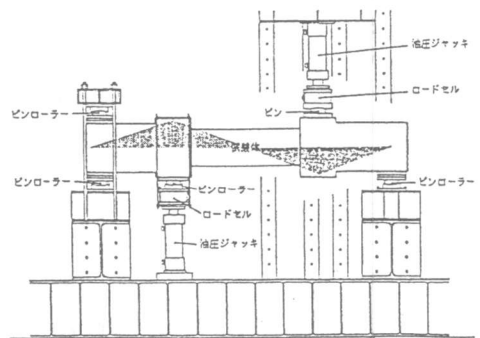


図6 加力装置図

図5に試験体配筋図を、図6に加力装置を示す。コンクリートの圧縮強度、割裂引張強度はそれぞれ 265, 24kg/cm²であった。主筋の表面状態を表3の試験体の一覧を示すように、主筋の横ふし間を樹脂系接着剤で埋め、付着性状を変化させた。今回の実験で想定している付着性状を図6に示す。異形鉄筋の横ふしを埋めれば、部材中で丸鋼的な挙動を示すと考えられる。その結果、初期付着剛性は小さくなるが、コンクリートを割り裂く作用が弱まる為、付着劣化は異形鉄筋に比べ小さくなると思われる。以下に示す破壊性状、主筋の歪分布、せん断補強筋の歪分布、主筋の局部付着応力度分布により想定した付着性状について検討を行う。なおPw・σyによりシリーズを分けている。

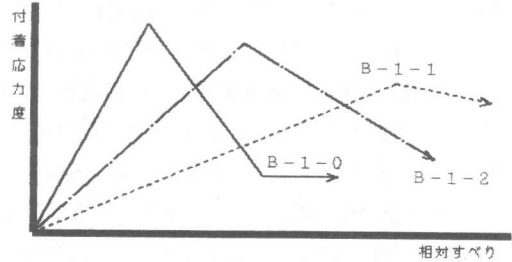


図7 想定している付着性状

3. 2 実験結果

図8に破壊性状を示す。いずれの試験体も主筋の降伏は確認されなかった。初ひびわれはいずれの試験体も P=4t付近で発見された。全試験体とも主筋の降伏は確認されず、せん断破壊した。

B-1シリーズでは左右の材端部に入った曲げせん断ひびわれが主筋に沿うひびわれへと進展している。B-1-0においては主筋に沿うひびわれがさらに進展して開口しせん断破壊に至っている。この破壊形状はせん断引張破壊であると思われる。B-1-1では主筋に沿うひびわれは、ある程度進展したものの破壊には至っていない。最終的には加力点近くのコンクリートが圧縮破壊したものである。B-1-2においてはB-1-0とB-1-1の中間的な破壊性状を示している。

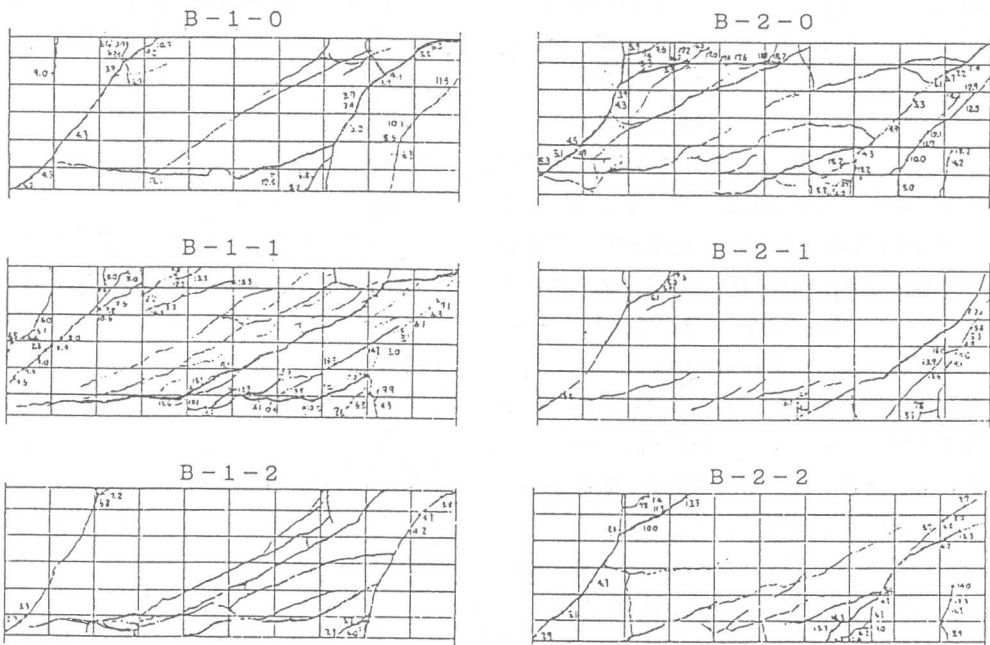


図8 破壊性状

B-2シリーズではどの試験体も左右の材端部に入った曲げせん断ひびわれが主筋に沿うひびわれへと進展しているが、B-1シリーズよりも $Pw \cdot \sigma_y$ が大きい為、ひび割れの開口が抑制され、ある一定以上は進展せず、最終的には加力点近くの斜めひび割れ分のコンクリートが破壊していると思われ、試験体による破壊性状のはっきりとした差は見られない。

図9にB-1シリーズにおける最大耐力時の主筋（上端筋）の歪分布を示す。B-1-1における左端の歪はB-1-0よりも大きく、右端の歪はより小さい。主筋の歪が小さくなるのは付着作用による所が大きいと考えられるから、最大耐力時における主筋の付着力はB-1-1のほうが大きいと思われる。図10にB-2シリーズにおける最大耐力時の主筋（下端筋）の歪分布を示す。B-1シリーズと同様、B-2-1の歪分布がやや大きいが、B-1シリーズほど大きな差はみられない。図11にB-1シリーズのせん断補強筋の歪分布を示す。どの試験体も斜めひびわれが主筋を横切る位置あたりのせん断補強筋の歪が大きくなっている。いずれの試験体もせん断補強筋の降伏が確認されたが、B-1-0いちばん低い荷重段階で降伏がみられた。RC部材におけるコンクリート（アーチ機構）から主筋（トラス機構）にせん断力を伝達する要素としては、せん断補強筋、主筋とコンクリートの付着作用などが考えられるが、主筋に沿うひび割れの発生後は付着作用によるせん断力伝達が小さくなるため、せん断補強筋によって伝達される力が大きくなり、B-1-0が他の試験体に比べてせん断補強筋の降伏が早まると考えられる。図12にB-2シリーズのせん断補強筋の歪分布を示す。最大耐力時においてせん断補強筋の降伏は確認されなかった。B-2-1のせん断補強筋の歪がやや小さいが、ほぼ同じような歪分布といえる。

図13にB-1シリーズにおける主筋の局部付着応力度分布を示す。B-1-0では位置によって大きな差がでている。どの試験体も斜めひびわれが主筋を横切る位置近くでは荷重が大きいほど付着応力が小さくなっており、付着劣化を示しているが、B-1-0はその劣化の程度が大きい。逆に、B-1-1は比較的安定しており、付着劣化が小さい。図14にB-2シリーズにおける主筋

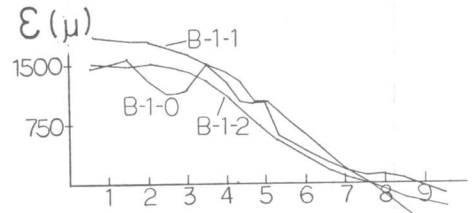


図9 主筋の歪分布（上端筋）

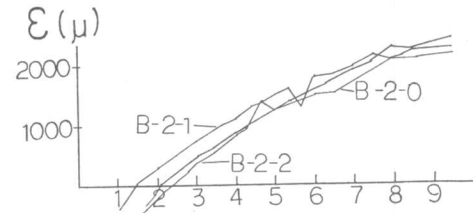


図10 主筋の歪分布（下端筋）

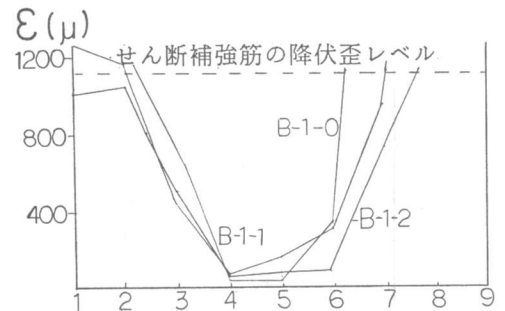


図11 せん断補強筋の歪分布

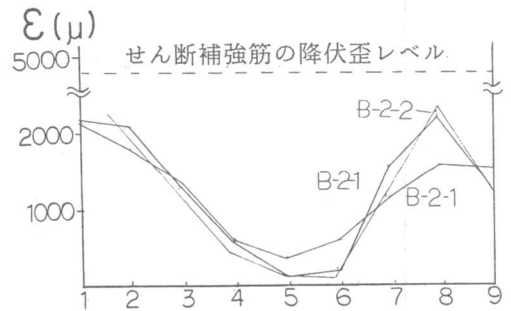


図12 せん断補強筋の歪分布

の局部付着応力度分布を示す。B-2シリーズにおいても付着劣化がみられるが、B-1シリーズに比べてその量は小さくなっている。

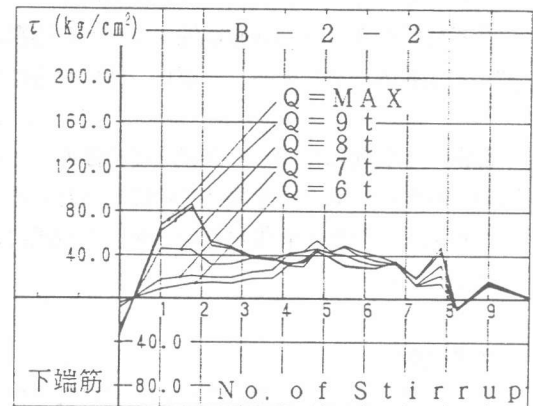
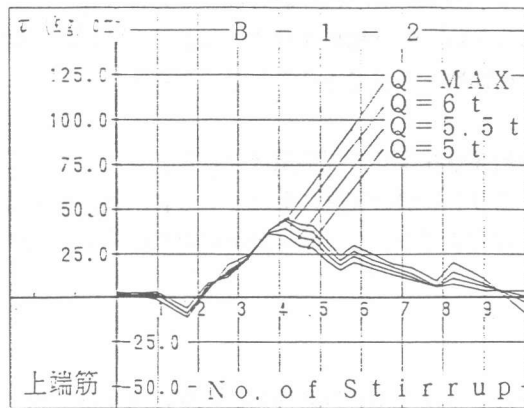
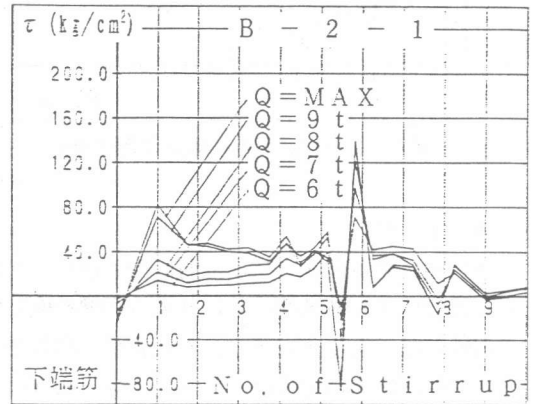
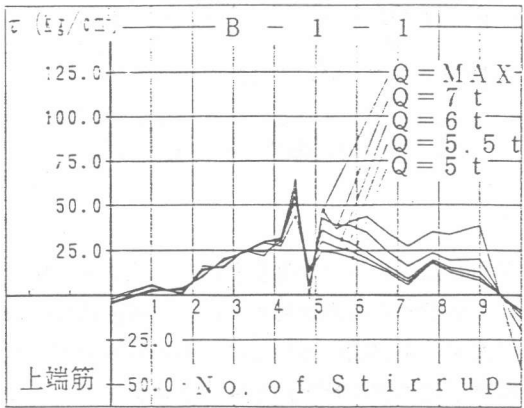
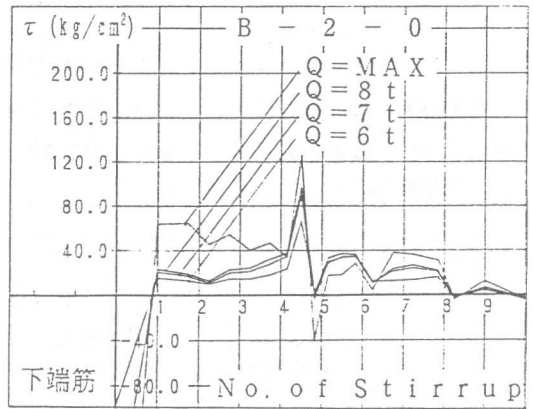
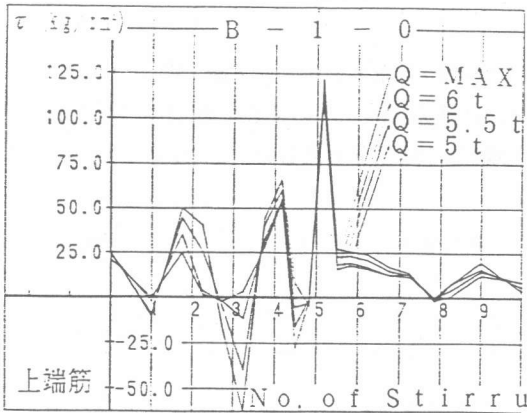


図13 主筋の局部付着応力度分布

図14 主筋の局部付着応力度分布

図15にB-1シリーズにおけるせん断力と相対変形の関係を示す。これまで述べた実験結果から、B-1シリーズでは付着性状の中で、初期付着剛性と、付着劣化時剛性が変化していると考えられる。B-1-0では最大耐力後の耐力の低下が見られた。B-1-1ではB-1-0よりも最大耐力時

のせん断力が 1t 程度大きい。最大耐力後の耐力の低下は余り見られなかった。B-1-2では最大耐力時のせん断力はB-1-0とほぼ同じくらいであるが、最大耐力後の耐力の低下は見られなかった。最大耐力時のせん断力、最大耐力後の耐力の低下を考えるとB-1-0がB-1シリーズにおいては一番劣っているといえる。

図16にB-2シリーズにおけるせん断力と相対変形の関係を示す。最大耐力時のせん断力はどの試験体もほぼ等しかった。しかしB-2-0においては他の2体に比べて最大耐力後の耐力の低下が見られた。最大耐力時のせん断力、最大耐力後の耐力の低下を考えるとB-2-0が劣るがB-1シリーズ程明確な差はないといえる。

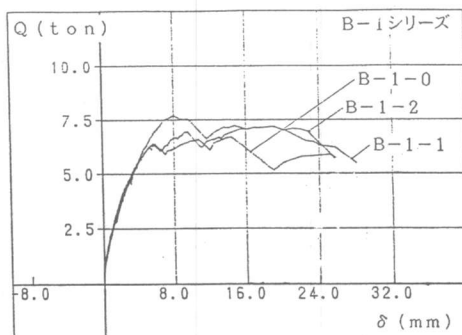


図15 せん断力と相対変形の関係

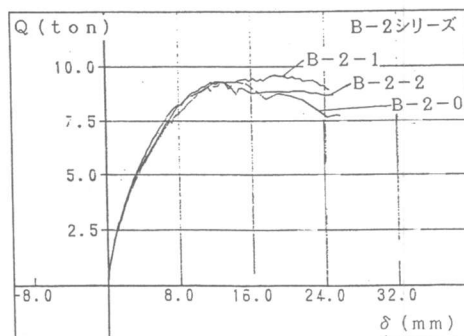


図16 せん断力と相対変形の関係

4. まとめ

本実験は付着性状、特に主筋に沿うひびわれが開口した後の付着劣化状態の付着性状を変化させた場合にせん断破壊性状に与える影響を検討する目的でせん断実験を行った。付着劣化状態の付着性状だけを変化させることは非常に困難であるため、本実験においては、異形鉄筋の横ふし間を樹脂系接着剤で埋めることにより、初期付着剛性、付着劣化時剛性を変化させることとした。

また、修正したトラスモデルによる解析において、初期付着剛性の影響は余り大きくないが、付着劣化時剛性のせん断破壊性状に与える影響は大きいという結果が求められたが、これは実験結果と比較的一致しており、解析方法は付着性状の影響を考慮できることが示された。

謝辞 本実験に使用した高強度異形鉄筋は、川崎製鉄㈱よりご提供頂きました。また、本研究は筆者らが福井大学大学院在学中に行ったものであり、実験の実施にあたり、技官・福田 萬氏、および同大学院生・岩佐真吾氏、林 英樹氏のご協力を得ました。関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 伊部創一、小林克巳ほか：RCはりにおけるダボ作用と付着作用の相関に関する研究（その1）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1990
- (2) 黒正清治、小林克巳ほか：鉄筋コンクリートはりのせん断終局強度に及ぼすせん断補強筋量およびコンクリート強度の影響に関する実験研究、日本建築学会構造系論文報告集、第373号 1987