

座屈拘束鉄筋により耐震補強された壁式橋脚における付着割裂破壊に関する一考察

(株) 大林組

正会員 ○武田 篤史

正会員 佃 有射

(株) 高速道路総合技術研究所

正会員 後藤 源太

正会員 飛田 一彬

1. はじめに

壁式橋脚の耐震補強において、中間貫通鋼材を省略できる工法として座屈拘束鉄筋¹⁾を用いた補強工法を考案した²⁾。補強軸方向鉄筋に鋼管を被せて、鋼管の曲げ剛性により軸方向鉄筋の座屈を拘束するものである。本稿では、変形性能を確認する正負交番水平載荷実験において生じた付着割裂破壊について考察する。

2. 実験方法

試験体は、実構造物の1/5スケール程度とした。別報²⁾で報告する試験体シリーズのうちの1体であり、引張鉄筋比は0.93%である。本構造では、せん断ひび割れ面に沿ったせん断すべりへの抵抗を考慮して、 $M_u/a < V_c$ （ここに、 M_u ：曲げ耐力、 a ：せん断スパン、 V_c ：せん断補強筋がない梁のせん断耐力）となるせん断ひび割れが入らない範囲を適用対象としているが、本試験体は、その範囲外である。試験体図を図-1に示す。

載荷は、せん断スパン1700mmの位置に対して正負交番水平載荷を行った。鉛直方向の軸力は載荷しなかった。載荷履歴は、基準変位 δ_y の整数倍で繰り返し数1回とした。基準変位 δ_y は、材料試験値を用いたファイバーモデルによる計算値であり、座屈拘束鉄筋の影響は考慮していない。

3. 実験結果

図-2に荷重-変位関係を示す。2 δ_y の載荷ステップで既設軸方向、補強軸方向鉄筋が順次降伏したが、この時点で側面には多くのせん断ひび割れが発生していた。-5 δ_y のピーク時に大きな破裂音2回連続して発生し、写真-1に示す付着割裂破壊が生じた。2回の破裂音は、引張側および圧縮側と考えられるが、その順番については確認できなかった。載荷終了後に詳細に調査したところ、付着割裂破壊は、既設軸方向鉄筋個所で生じていた。付着割裂破壊後は載荷を続けたが、耐力は減少していくとともに、かぶりが崩落した。

4. 付着割裂破壊に関する考察

一般に、付着割裂破壊は軸方向鉄筋量が多くせん断スパンが小さいときに発生するにも拘わらず、付着割裂破壊が生じた原因について付着強度の観点から計算し、考察する。

4.1 付着応力度 付着応力度は、RC計算基準³⁾や靱性保証型指針⁴⁾に倣い、基部から有効高さ上方位置での軸方向鉄筋応力が曲げモーメント0の載荷点まで均一の付着応力度が発

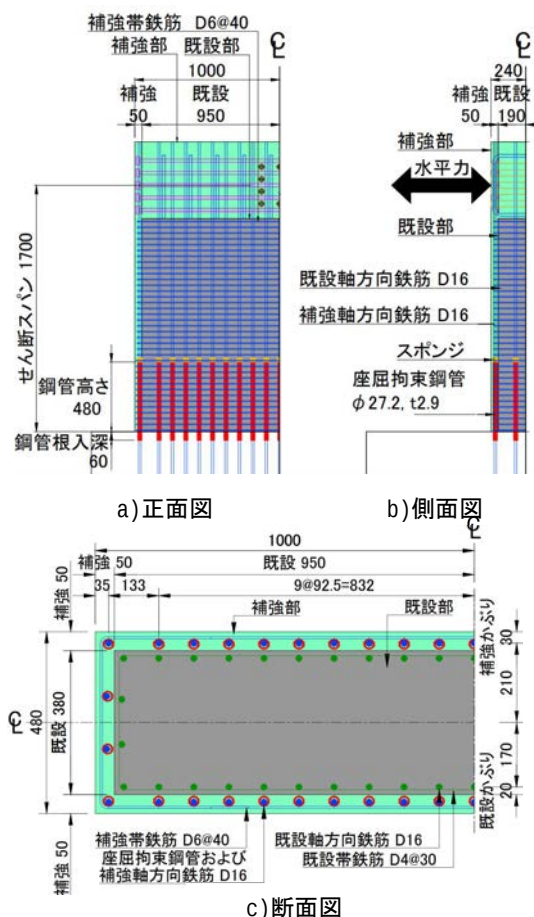


図-1 載荷方法

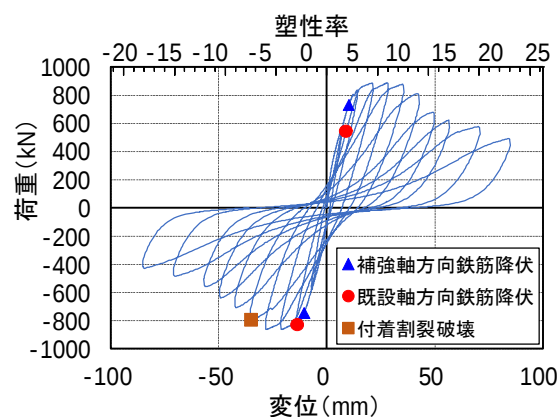


図-2 荷重-変位関係

キーワード 耐震補強, 中間貫通鋼材, 座屈拘束鉄筋, 付着割裂破壊

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株) 大林組技術研究所 TEL042-495-1013

生ずるとして、式(1)により計算した。基準³⁾⁴⁾では、基部から有効高さ上方位置での軸方向鉄筋応力を降伏応力としているが、実験においては塑性硬化域まで達しているため、降伏強度の試験値(378N/mm²)および引張強度の試験値(564N/mm²)の両者を用いた。

$$\tau = \varphi \cdot f_s / \{4(a - d)\}$$
 (1)

ここに、 τ : 付着応力度、 φ : 軸方向鉄筋径、 f_s : 基部から有効高さ上方位置での軸方向鉄筋応力、 a : セン断スパン、 d : 有効高さ。

4.2 付着強度 RC 計算基準³⁾および靱性保証型指針⁴⁾に倣い、それぞれ式(2)および式(3)により算定した。ただし、破壊形態は実験結果よりサイドスプリット型とした。帯鉄筋は両端のみにしか配置されていないので、考慮しないこととした。靱性保証型指針⁴⁾は信頼性を考慮して 0.8 倍されているため、1/0.8 倍として考慮することとした。なお、付着強度を算定する対象は実験結果より既設鉄筋としたが、両指針においても、2 段目鉄筋に対しては付着強度を 0.6 倍とすることとなっており、計算上も既設鉄筋がクリティカルになる。

$$\tau_{u1} = \{0.3(C/\varphi) + 0.4\} \cdot 0.6(f'_c/40 + 0.9)$$
 (2)

$$\tau_{u2} = 0.6[\{0.085(C/\varphi) + 0.10\} \cdot f_c^{0.5}] / 0.8$$
 (3)

ここに、 τ_{u1} : RC 計算基準に倣い算定した付着強度、 τ_{u2} : 靱性保証型指針により算定した付着強度、 C : 軸方向鉄筋のあき、 f'_c : コンクリート圧縮強度の試験値(24.9N/mm²)

4.3 計算結果と考察 基準³⁾⁴⁾に示される方法により、軸方向鉄筋応力を降伏強度として付着応力度を計算した場合は、付着割裂破壊は生じないこととなり、実験結果と整合しない。一方、軸方向鉄筋応力を引張強度として付着応力度を計算すると、おおむね整合する。実験では、軸方向鉄筋は破断していないため軸方向鉄筋応力を引張強度とするのは過度に大きくする仮定であるとは考えられるにもかかわらず、付着応力度と付着強度が整合するのは以下の原因が考えられる。1)部材軸方向に付着応力度が一様の仮定となっているが、現実には一様でない。2)付着強度式は建築構造物の一般的な部材を対象に実施された実験の回帰式であり、面外曲げをうける壁構造は対象とされていない。したがって、壁式橋脚の付着割裂破壊を検討する際に建築の基準³⁾⁴⁾を適用すると、危険側となる可能性があり注意が必要である。

4.4 実構造物における付着割裂破壊の可能性 本実験では試験体スケールを 1/5 としたものの、鉄筋径についてはスケール模型となっていなかった。そこで、引張鉄筋比が同等の実構造物で、軸方向鉄筋を D41@125 としたときの計算結果を表-2 に示す。引張強度を用いて計算した付着応力度でも付着強度の 8 割程度となっていることから、付着割裂破壊が生じる可能性は小さいものと考えられる。

5. まとめ

実験において生じた付着割裂破壊に対して、建築分野の耐力式を用いて考察を行った。壁式橋脚に建築分野の耐力式を適用する場合に注意が必要なこと、同程度の鉄筋比の実構造物において付着割裂破壊が生じる可能性は低いことがわかった。

参考文献 1)武田: 座屈拘束鉄筋を用いた柱構造の正負交番載荷実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.43, No.2, pp.487-492, 2021.7, 2)飛田ほか: 座屈拘束鉄筋を用いて耐震補強された壁式橋脚の正負交番実験, 第 78 回年次学術講演会講演集 (投稿中), 2023, 3)日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, 2018, 4)日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999

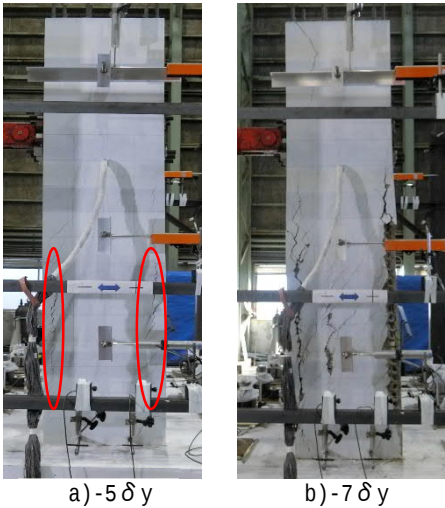


写真-1 付着割裂破壊

表-1 計算結果

付着応力度(N/mm ²)		付着強度(N/mm ²)	
降伏強度 で計算	引張強度 で計算	RC計算 基準	靱性保証 型指針
1.19	1.78	1.68	1.90

表-2 実構造物(D41)の計算結果

付着応力度(N/mm ²)		付着強度(N/mm ²)	
降伏強度 で計算	引張強度 で計算	RC計算 基準	靱性保証 型指針
0.48	0.72	0.93	1.03