

鋼繊維コンクリートを用いたラーメン高架橋の部材接合構造の開発

構造物技術研究部 コンクリート構造
副主任研究員 田所敏弥

1. はじめに

耐震設計において考慮する地震力の増大にともない、ラーメン高架橋においては、鉄筋量が増加する傾向にある。そのため、柱・梁・杭の接合部は、図1に示すように各部材の軸方向鉄筋が輻輳し、鉄筋組み立ておよびコンクリート打設が困難な状況が生じている。また、近年、鉄筋の太径化、高強度化にとまなう定着長増加により、接合部の寸法が増加する場合がみられる。

そこで、ラーメン高架橋の柱・梁・杭の接合部の施工性の改善を目的に接合部への鋼繊維コンクリートの適用について検討した。鋼繊維コンクリートにおいては、鋼繊維のひび割れに対する補強効果が期待できることから、この効果を一軸引張試験により定量化することによって、設計法を提案した。そして、接合部を模擬した試験体により、地震時の繰返し作用に対する性能について検討し、提案した設計法の妥当性を示した。さらに、実大レベルの試験体による施工試験によって、鋼繊維コンクリートの施工性を確認した。

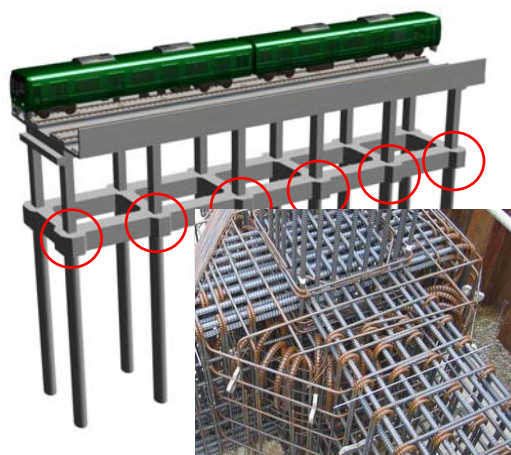


図1 接合部の配筋状況

2. 鋼繊維コンクリートに埋込まれた鉄筋の定着性能

2.1 鋼繊維コンクリートの特性

圧縮力に対しては、抵抗が十分であるが、引張力に対しては十分ではないコンクリートの弱点を補うため、短繊維を混入した繊維コンクリートは、構造性能や耐久性に優れた複合材料である。混入される繊維は、その用途により、形状、材質は様々で、鋼繊維、炭素繊維、ビニロン繊維、アラミド繊維、ガラス繊維等が用いられる。

ラーメン高架橋の接合部への適用にあたっては、繊維がひび割れを横断する際にひび割れ幅拡大を防止する、いわゆる架橋効果によるじん性能の向上を期待するため、鋼繊維を対象とした。一般に、コンクリートのじん性能としては、一軸引張試験より得られる図2に示す引張軟化曲線およびその包絡面積としてもとめられる破壊エネルギーを評価指標とする。破壊エネルギーについては、鋼繊維コンクリートが他の繊維コンクリートに比べ優れており、定着性能の向上がもとめられる接合部への適用に最も適していると考えられる。

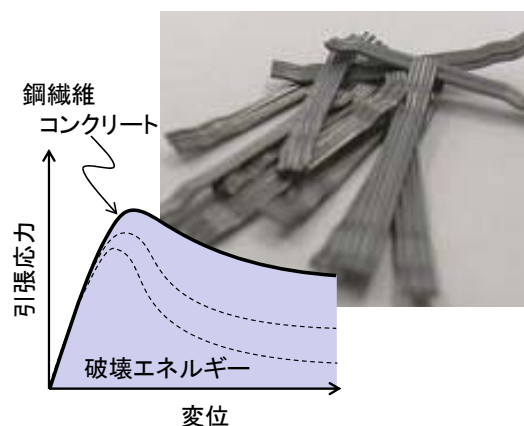


図2 引張軟化曲線および使用鋼繊維

2.2 鋼繊維コンクリートに埋込まれた鉄筋の定着性能の定量化

鋼繊維コンクリートを用いた接合部の開発においては、鋼繊維コンクリートに埋め込まれた鉄筋の定着性能を定量化し、鉄筋が拔出さない、いわゆる定着長に関する算定式を提案する必要がある。そこで、定着長に影響が大きいと考えられる鋼繊維の混入率、かぶり、補強鉄筋量等をパラメータに載荷試験を行った。試験状況を図3に示す。試験は、ラーメン高架橋の接合部を模擬した試験体に埋め込まれた鉄筋に一方向引張力を作用させる、一軸引張試験とした。なお、本研究では、図2に示す直径0.6mm、繊維長30mm、引張強度の規格値1000N/mm²の鋼繊維を用いた。

鉄道構造物等設計標準同解説（コンクリート構造物）¹⁾（以下、コンクリート標準）においては、普通コンクリートにおける鉄筋の基本定着長 l_{d0} は、Orangunらの研究による実験式を簡略化した式として、式(1)が示されている。式(1)では、補強鉄筋やかぶり等の影響を低減係数 α_b として考慮している。

$$l_{d0} = \alpha_b \cdot \frac{f_{syd}}{4f_{bod}} \cdot \phi \quad (1)$$

ここに、 α_b : 補強鉄筋やかぶりに関する低減係数 (0.5 ≤ α_b ≤ 1.0)

f_{syd} : 鉄筋の設計引張降伏強度 (N/mm²)

f_{bod} : コンクリートの設計付着強度 (N/mm²)

ϕ : 定着する鉄筋の公称径 (mm)

$f_{bod} = f_{bok} / \gamma_c$ (γ_c : 材料係数)

$f_{bok} = 0.28 f_{ck}^{2/3}$

f_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

一軸引張試験の結果として、付着強度 f_{bod} に対する最大せん断応力 u の倍率 u/f_{bod} と低減係数 α_b の関係を図4に示す。図4より、鋼繊維混入率 p_f の増加にしたがって、 u/f_{bod} が増加していることがわかる。また、 u/f_{bod} は、低減係数 α_b にほぼ反比例の関係であることが確認できる。この関係を用い、鋼繊維コンクリートの影響に関する補正係数 k_s を定量化し、式(2)に示した。

$$k_s = 1 + 50 p_f \quad (2)$$

p_f : 鋼繊維混入率

また、式(2)を用いて算定した、 u/f_{bod} と低減係数 α_b の関係を図4にあわせて示した。なお、 u/f_{bod} の増分である補正係数 k_s が、鋼繊維による定着性能の改善効果と考えることができる。

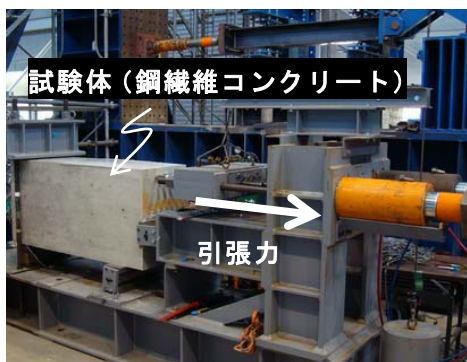


図3 一軸引張試験の状況

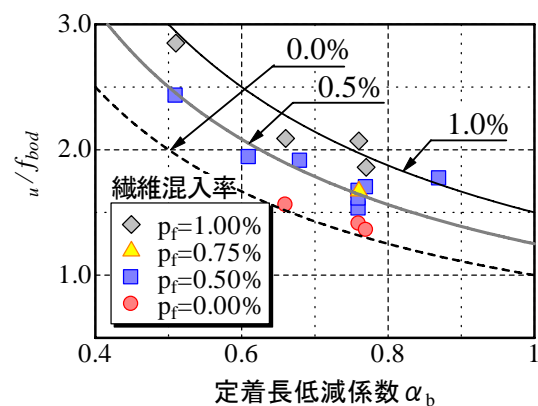


図4 (u/f_{bod}) - α_b の関係

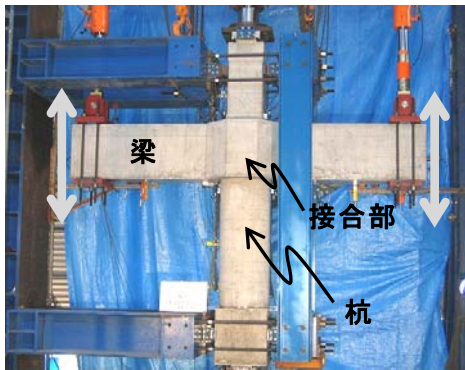


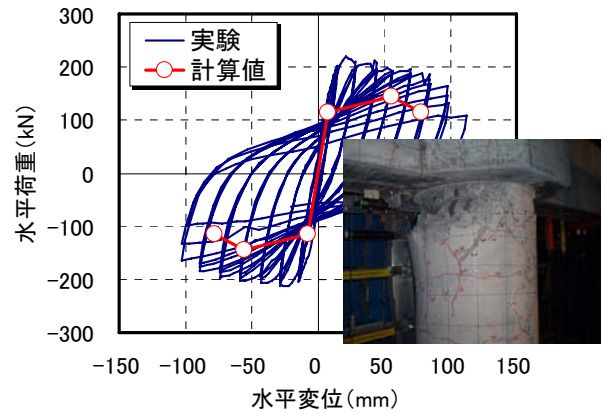
図 5 正負交番载荷試験の状況

3. 高応力繰返しを受ける接合部の定着性能

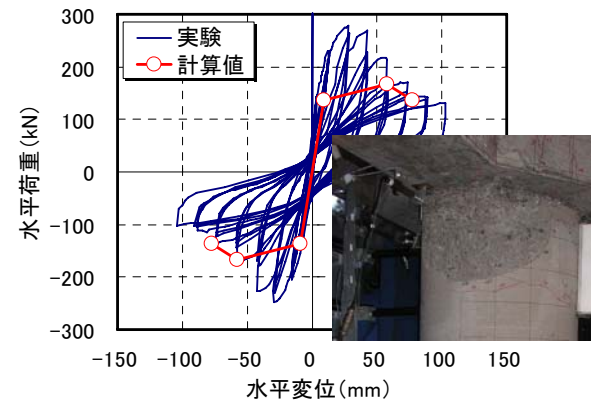
接合部に定着される鉄筋においては、接合される部材に応じて、静的引張力、高応力繰返し、および疲労等に対する定着性能が要求される。ラーメン高架橋の柱・梁・杭の接合部においては、地震時における高応力の繰返し荷重に対して、所定の定着性能を有することがもとめられる。そこで、一軸引張試験より提案した鋼繊維コンクリートの定着長算定式の妥当性について、ラーメン高架橋の接合部を模擬した試験体による正負交番载荷試験より検討した。

試験体は標準的な 1 柱 1 杭形式のラーメン高架橋の柱・梁・杭の接合部を模擬した実大の 50% 縮小モデルとした。また、接合部内の杭の帯鉄筋については、鋼繊維の補強効果が期待できることから、すべて省略し、施工性の改善を図った。試験状況を図 5 に示す。試験パラメータは、繊維混入率、定着長、および接合部形状とした。なお、载荷は、図 5 に示す梁を上下方向に加力し、杭の変形性能、および破壊形態について検討した。試験結果の例をコンクリート標準より算定される骨格曲線とともに図 6 に示す。なお、杭の破壊形態は、軸方向鉄筋の座屈、塑性ヒンジの形成によって荷重低下に至るタイプ 1、軸方向鉄筋が座屈することなく、拔出しの増大によって荷重低下に至るタイプ 2 に大別することができた。十分に定着長を確保した定着性能が良好な試験体は、軸方向鉄筋が座屈し荷重低下に至るタイプ 1 に分類され、定着長が十分ではない試験体は、軸方向鉄筋の過大な拔出しにより、鉄筋に交番応力が伝達されないため、塑性ヒンジが形成されず、所定の变形性能が確保できなかった。

正負交番载荷試験の結果をもとに、式 (1) および式 (2) に示す鋼繊維コンクリートの定着長算定式の妥当性について検討した。図 7 に試験体の鉄筋の埋込み長さとして算定した必要定着長の関係を示す。必要定着長に対し埋込み長さが小さい試験体は、拔出しが



(a) タイプ 1 (提案の定着長を確保)



(b) タイプ 2 (提案の定着長以下)

図 6 杭の荷重-変位関係および破壊形態

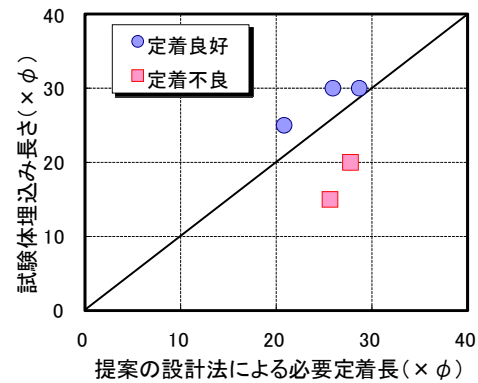


図 7 定着長算定式の評価

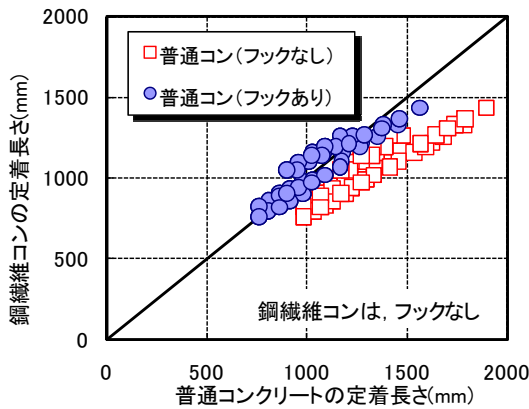


図8 試設計による経済性の検討

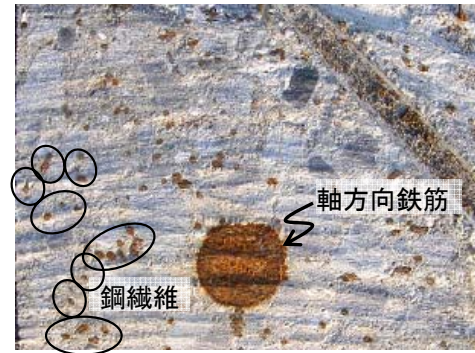


図9 鋼繊維コンクリートの充填状況

過大で、変形性能が劣り、定着不良と判定された。一方、必要定着長より埋込み長さが大きい試験体は、抜出しが適量で、所定の変形性能を有することがわかった。このことから、提案した設計法は、接合部の定着性能の良否を評価できると考えられる。

4. 試設計のよる経済性の検討

鋼繊維コンクリートを用いた接合構造が設計結果におよぼす影響を把握するため、鋼繊維を用いた接合部の試設計を行った。繊維混入率は、実施工における充填性を考慮し、1.0%とした。なお、鋼繊維を用いた接合部においては、鋼繊維の補強効果を考慮し、接合部の帯鉄筋をすべて省略した。試設計により得られた結果を図8に示す。ただし、フックありの場合の埋込み長さは、接合部下面からフック曲げ加工部の頂部までとした。フックを用いた普通コンクリートの接合部の定着長と鋼繊維を用いた接合部の定着長がほぼ同等であることから、鋼繊維コンクリートを用いた接合構造によって、定着長の増加なしにフックおよび帯鉄筋が省略でき、接合部の配筋が簡素化できることがわかった。一方、フックのない普通コンクリートの接合部における定着長と比べると、帯鉄筋を省略し、かつ、定着長が10~30%低減できることがわかった。

5. 鋼繊維コンクリートの施工性の確認

鋼繊維コンクリートの打設においては、コンクリートの材料分離、充填、および鋼繊維の分散等に十分な配慮が必要となる。このため、実大レベルの試験体による施工試験より、鋼繊維コンクリートの施工性を検討した。鋼繊維コンクリート打設時においては、コンクリートの材料分離等はみられなかった。また、打設後、接合部を切断し、コンクリートの充填、および鋼繊維の分散状況について確認した。その結果、図9に示すように鉄筋が輻輳する接合部においても、コンクリートが良好に充填され、鋼繊維が分散していることが確認できた。

6. おわりに

本研究では、鋼繊維の影響による鉄筋の定着性能の向上を定量的に評価し、接合部の設計法を提案した。本研究において開発した、鋼繊維コンクリートを用いた接合構造をラーメン高架橋に適用することによって、接合部の配筋が簡素され、設計・施工の改善が図れるものと考えられる。

参考文献1：鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），2004.4