

論文 両引き試験による異形鉄筋重ね継手の強度特性の検討

渡辺 暁央^{*1}, 石川 裕一^{*2}, 宮下 剛^{*3}, 青山 實伸^{*4}

要旨: 本研究は異形鉄筋の重ね継手を橋梁のノージョイント工法として扱うための基礎的研究である。重ね継手強度を検討するために、万能試験機による両引き試験を実施するとともに、所定荷重による繰返し両引き試験を実施した。普通コンクリートの重ね継手の繰返し載荷では、一般的な材料の疲労と同じようなS-N曲線の関係が得られる。上限応力比が0.85を下回る荷重では数百回の繰返し載荷に耐えるようである。また、両引き試験における重ね継手強度は、繊維を混入することにより強度が4~13%増加し、最大荷重時における変位も大きくなる。

キーワード: 両引き試験, 重ね継手, 継手長さ, 繰返し載荷

1. はじめに

道路橋の伸縮装置は、老朽化にともなう止水・排水機能の低下により凍結防止剤を含む路面水が流れ落ちることが多く、上部構造のけた端部や、橋台および掛違ひ橋脚にコンクリートの塩害劣化を発生させることが多い¹⁾。また伸縮装置は、交通荷重が直接作用するため橋梁の中でも最も傷みやすく、特に鋼製の部材で構成される伸縮装置は路面に段差が出来ることから、乗り心地の低下や沿線周辺の環境問題を起すこともある。このため筆者らは、道路橋のノージョイント工法の1つとして、図-1のように橋梁伸縮装置の遊間を鉄筋とコンクリートで閉塞するRC連結ジョイントを提案している。この工法は、コンクリートのクリープ・乾燥収縮が収束した既設コンクリート橋を対象にした安価なノージョイント工法であり、活荷重による影響や温度変化による上部構造のけた伸縮・回転を図-2のように下部構造や基礎構造が変形し追従する特色をもつ^{2), 3)}。本工法は大規模な地震動における強制変位を受けた場合、橋梁本体に悪い影響を及ぼさないことを耐震設計の原則としている⁴⁾。この背景から大規模な地震動ではRC連結ジョイントをヒューズ機構と扱い、この部材を積極的に破壊させることを考えた。そのため、この部材は重ね継手構造とすることにして、じん性がある壊れ方をさせるために、重ね継手の強度特性を把握することが求められる。

本論文は、大規模な地震動におけるRC連結ジョイントの挙動を把握するための基礎的研究として、重ね継手長を直径の20倍未満にした強度特性を把握することを目的とした。重ね継手の強度特性は、両引き供試体を用いて重ね継手の強度を調べ、また繰返し載荷試験により強度特性への影響を検討する。

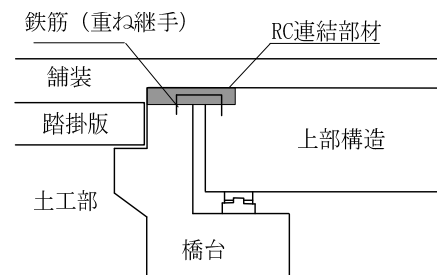


図-1 RC連結ジョイントの概要図

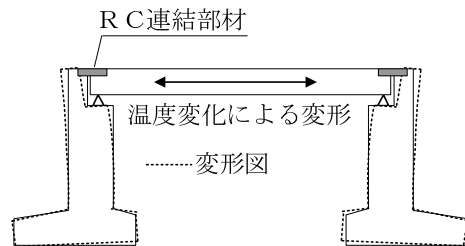


図-2 温度変化による橋体の挙動

2. 実験概要

既往の研究で行われている両引き供試体は、偏心の影響を除去するため、2組の重ね継手を平行に配置した供試体を作製し、2組の重ね継手を同時に引っ張る方法が採用されている^{例えは5, 6)}。しかし、この手法は、専用の試験装置の製作等が必要となり、容易に行える実験ではない。そのため本研究では、溶接継手等の性能試験と同様に、万能試験機を使用して重ね継手の評価を実施することを試みた(写真-1参照)。

本研究の実験は大きく3種類である。まず、万能試験機を使用した両引き試験に関する知見を得るための予備

*1 苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授 博(工) (正会員)

*2 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店道路技術部 修(工) (正会員)

*3 長岡技術科学大学 産学融合トップランナー養成センター特任講師 博(工)

*4 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店道路技術部 博(工) (正会員)

的検討として、早強セメントコンクリートにより静的な破壊強度を調べた。次に、上限応力比を低減させて、繰り返し載荷試験を行い、破壊に至るまでの繰り返し回数を評価した。最後に、実際の RC 連結ジョイントの施工で使用を検討している超速硬コンクリートにポリプロピレン繊維を混入した供試体を作製し、両引き試験により繊維補強効果を検討した。

2.1 使用材料および配合

予備検討および繰り返し載荷試験で使用するコンクリートにおいては、セメントは早強ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm³)、細骨材は陸砂(密度 2.69g/cm³, F.M=2.83)、粗骨材は川砂利(密度 2.68g/cm³, F.M=6.79)を使用した。水セメント比 (以下、W/C) は、45%および 55%のコンクリートを作製した。配合は表-1 のとおりである。

実施工を考慮した繊維入りコンクリートにおいては、セメントは施工時間の制約を想定して超速硬タイプとした。配合は W/C=40%とし、写真-2 に示すポリプロピレン繊維を混入したもの、混入しないもの 2 種類を用いた。コンクリートに繊維を混入する場合、その量は 1.27vol.% とした。繊維補強コンクリートの配合を表-2 に示す。

異形鉄筋は SD295 および SD345 を使用し、径は D13 (公称直径 12.7mm, 公称断面積 126.7mm²) とした。

2.2 コンクリートおよび鉄筋の強度特性

両引き試験の実施に先立ち、使用する材料の強度特性を調べた。硬化コンクリートの強度特性は、直径 100mm, 高さ 200mm の円柱供試体を用いて JIS A 1108-1999 に準じた圧縮強度試験と、JIS A 1113-1999 に準じた割裂引張強度試験を行った。また鉄筋の引張強度は、JIS Z 2241-1998 に準拠する金属材料引張試験を行った。表-3 に使用する材料の強度特性を整理する。

2.3 供試体の作製

供試体寸法は RC 連結ジョイントの構造構成を勘案して 400×200×80mm (タイプ A) および 400×100×70mm (タイプ B) の 2 種類とした。異形鉄筋の重ね継手長さは、50~350mm で変化させ、つかみ部分としてコンクリート供試体から 170mm 突出するように配置した。図-3 に両引き試験の供試体概要を示す。なお、養生は気中養生とし、試験材齢は 14 日である。

2.4 両引き試験

試験は、2.3 で作製した供試体を、JIS Z 2241-1998 「金属材料引張試験法」に準じて、両引き試験を行ものとする。万能試験機のつかみ装置に、異形鉄筋の両端をそれぞれ 150mm の長さで固定し、コンクリート表面にひび割れが発生し引張力が減少するまで、載荷速度を均一にして力を加える。なお、万能試験機のつかみチャックは、予備試験の結果から、偏心の影響を少なくすることができる平チャックを使用する。丸チャックを使用した場合



写真-1 万能試験機による重ね継手の両引き試験

表-1 早強セメントコンクリートの配合 (kg/m³)

W/C	水	セメント	細骨材	粗骨材	AE 減水剤
45%	138	302	798	1161	3.0
55%	166	250	817	1189	2.5



写真-2 ポリプロピレン繊維

表-2 繊維補強コンクリートの配合 (kg/m³)

繊維	水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤
なし	164	416	745	1032	8.3
1.27%	174	438	863	807	8.7

表-3 使用材料の強度特性 (N/mm²)

(a) 早強セメントコンクリート (材齢 14 日)

W/C	圧縮強度	割裂引張強度
45%	49.5	3.5
55%	34.8	2.7

(b) 繊維補強コンクリート (材齢 14 日)

繊維	圧縮強度	割裂引張強度
なし	51.2	3.0
1.27%	48.1	3.7

(c) 異形鉄筋 (D13)

	降伏強度	引張強度
SD295	331	513
SD345	381	543

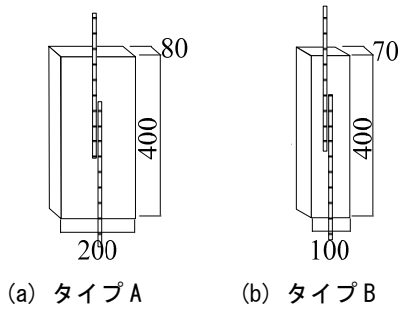


図-3 両引き試験の供試体

は、偏心荷重の影響により小さい荷重で破壊に至る。

また、繊維補強コンクリートの両引き試験では、ロードセルによる引張荷重の測定と、異形鉄筋を定着するチャックの変位量を測定した。なお、異形鉄筋の定着チャックの滑りが想定されたため、定着チャックのなじみをとる目的として、約 30kN の引張荷重を数回にわけて予備载荷し、供試体が破壊するまで引張力を与える。

2.5 繰返し载荷試験

試験は、まず 2.4 の両引き試験により重ね継手強度(上限応力)を求めた。次に、繰返し载荷の上限値は、重ね継手の上限応力より約 7N/mm^2 あるいは約 15N/mm^2 (荷重で 1kN あるいは 2kN) ずつ下げて設定し、約 1kN から上限値までの繰返し载荷の両引き試験を実施し、破壊までの繰返し回数を求めた。

3. 両引き試験による重ね継手の強度

3.1 供試体寸法の影響

供試体寸法の影響を検討するために、重ね継手長さを十分に確保した供試体を作製して、両引き試験を実施した。表-4 は、重ね継手長さが 250mm および 350mm における供試体寸法による重ね継手強度の違いである。ここで重ね継手強度とは、引張試験機の引張力を鉄筋の公称断面積で除したものとする。供試体の幅が狭いタイプ B は、タイプ A に比べて重ね継手強度が低い。特にタイプ B で重ね継手長さが 250mm の場合、その強度はタイプ A と比べ 0.8 倍の 332N/mm^2 となり、異形鉄筋の降伏強度とほぼ等しくなる。

タイプ B の供試体の場合、供試体の幅が狭く鉄筋とコンクリートの拘束力が不足していると推察され、これ以降はタイプ A の供試体寸法を使用し、両引き試験を行うものとする。

3.2 重ね継手長さの影響

図-4 および表-5 は、コンクリートの W/C および異形鉄筋の重ね継手長さを変化させ、両引き試験を実施した結果である。なお、図-4 中の破線は、異形鉄筋 D13 の降伏強度をあらわす補助線である。コンクリートの W/C

表-4 供試体寸法による重ね継手強度 (W/C=45%, D13, SD295)

供試体	重ね継手長さ(mm)	最大引張力 (kN)	強度 (N/mm^2)
タイプ A	250	52.4	414 (—)
	350	52.4	414 (—)
タイプ B	250	42.0	332 (0.80)
	350	51.0	403 (0.97)

※上記()内の数値は、同じ重ね継手長さにおけるタイプ A との引張強度の比率を示す。

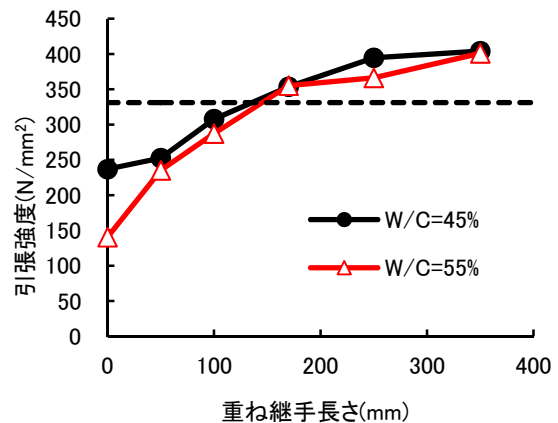


図-4 重ね継手長さと引張強度の関係 (D13, SD295)

表-5 重ね継手長さによる重ね継手強度 (D13, SD295)

W/C	継手長さ (mm)	最大引張力 (kN)	引張強度 (N/mm^2)
45%	0	30.0	237
	50	32.0	253
	100	39.0	308
	170	44.8	354
	250	50.0	395
	350	51.2	404
55%	0	17.8	141
	50	29.8	235
	100	36.4	287
	170	45.0	355
	250	46.4	366
	350	50.8	401

の影響として、重ね継手強度は W/C が 45%の方が若干高い傾向にあり、55%の場合に比べて約 1.1 倍増加する。コンクリート材料自身の引張強度は、W/C 45%と 55%で 1.3 倍の相対比があり、重ね継手強度の増加に寄与していると推察する。次に重ね継手長さに関する両引き試験結果について考察する。重ね継手強度は、重ね継手長さを 170mm (公称直径の 13.4 倍)とした場合、重ね継手強度と鉄筋の降伏強度が同等となり、170mm 以上の重ね継手長さを長くしても、鉄筋の降伏強度で停滞する。また重ね継手長さが 170mm 未満の場合は、重ね継手強度は重ね継手長さと同相関性がある。

両引き試験で生じたコンクリート表面のひび割れ形状を図-5 に示す。重ね継手長が 250mm 未満の場合は、異形鉄筋を埋込んだコンクリートの端部から、鉄筋方向に沿ったひび割れが発生し、その後、埋込み鉄筋の端部付近から鉄筋軸の直角方向にひび割れが生じて破壊する。鉄筋軸の直角方向のひび割れは、重ね継手の応力伝達が不十分で、鉄筋端部で応力集中が発生したものと考えられる。すなわち、重ね継手は引張荷重載荷の途中から応力伝達能力が低下し、鉄筋同士の一体性が失われ、コンクリートの引張破壊により崩壊に至るものと推察する。一方、重ね継手長が 250mm 以上の場合は、コンクリート表面に鉄筋の軸方向のひび割れが発生し、その後、鋼材の伸びが増大しコンクリートと鉄筋の付着切れが生じたものと考えられる。重ね継手長が 250mm 以上の場合は、異形鉄筋の端部から発生する軸直角方向のひび割れは認められない。

4. 繰返し载荷による影響

重ね継手構造を用いたノージョイント工法を検討するにあたっては、静的な重ね継手強度も重要であるが、地震を想定した数十から数百回の繰返し载荷に対して、ど

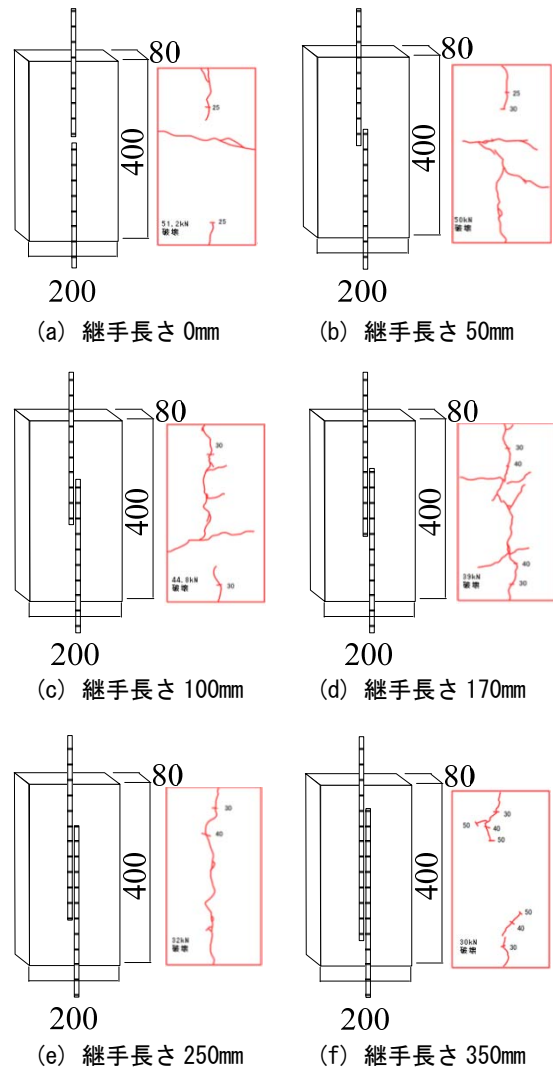


図-5 重ね継手長さの違いによるひび割れ形状 (W/C=45%, D13, SD295)

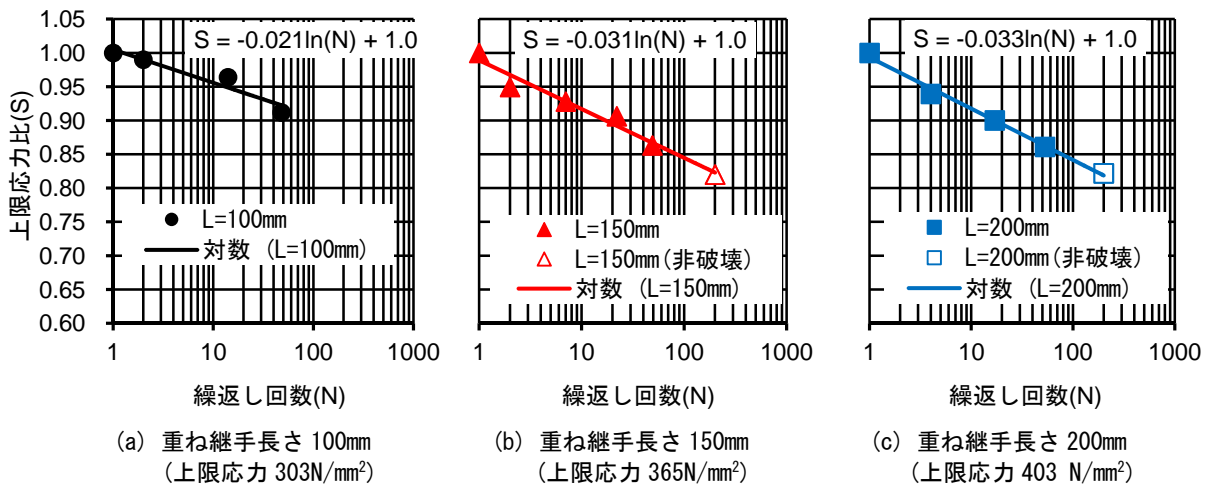


図-6 上限応力比と繰返し回数との関係 (W/C=45%, D13, SD345)

のような影響があるか検討する必要がある。材料の繰返し
し荷重試験においては、S-N 曲線で示される疲労の考
え方があるが、重ね継手においても、これに類似する関
係があるかは不明である。しかし、重ね継手の強度がコ
ンクリートの付着に起因するため、コンクリートの疲労
特性との関連性は大きいと予想される。本章では、重ね
継手の両引き試験において繰返し荷重を行った場合の影
響を検討する。

図-6 は、繰返し荷重を行ったときの上限応力比と破壊
までの繰返し回数の関係を示したものである。一般的な
疲労特性と同様に、S-N 曲線の関係が成立するようであ
る。なお、最大の繰返し回数は 200 回までとしている。
上限応力比と繰返し回数の関係は、重ね継手長さ 150mm
および 200mm の近似曲線がほぼ一致し、継手長さ 100mm
の場合のみ異なる傾向を示している。これは、SD345 の
降伏応力が 381N/mm^2 であることを考慮すると、継手長
さが 100mm では重ね継手強度が 303N/mm^2 であり、鉄筋
の降伏よりかなり早い段階で破壊している点に注目すべ
きである。すなわち、重ね継手長さが短い場合、応力伝
達が十分発揮されず、図-5 のひび割れ状況からも推定さ
れるように、重ね継手の一体性が比較的低い荷重で失
われ、重ね継手強度がコンクリートの引張強度に依存す
ようになると考えられる。そのため、繰返し回数の変化
に対して上限応力比の変化が緩やかになったと推察する。
一方、継手長さが 150mm および 200mm は同じ傾向を
示していることから、双方とも重ね継手の応力伝達が十
分に行われており、本来の重ね継手の性能が発現されて
いるものと考えられる。また、この場合、上限応力比が 0.85
より小さい応力レベルで、100 回以上の繰返し荷重に耐
えられるようである。

5. 繊維補強コンクリートの重ね継手強度

5.1 繊維補強による効果

図-7 は、繊維補強コンクリートにおいて重ね継手長
さを变化させた時の両引き試験の結果である。なお、参
考として 3 章で示した W/C=45% および 55% の結果も併
記する。両引き試験による結果から、コンクリートにポ
リプロピレン繊維を混入した場合、異形鉄筋の重ね継手
強度は 4~13% 増加する。この原因は、繊維補強がコン
クリートの引張特性を向上させることで、鉄筋付近のコン
クリートが拘束効果を有し、異形鉄筋とコンクリートの
付着強度が増加したものと推察する。

コンクリート標準示方書【設計編】に規定されている
異形棒鋼の重ね継手長は、直径の 20 倍以上の継手長を
確保するとされているが、普通コンクリート (W/C45%~
55%) の場合は、重ね継手長さが鉄筋直径の 13.4 倍に
相当する 170mm 以上で、重ね継手強度が鉄筋の降伏強度

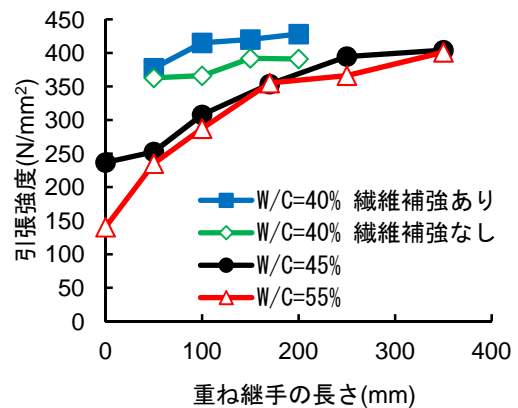
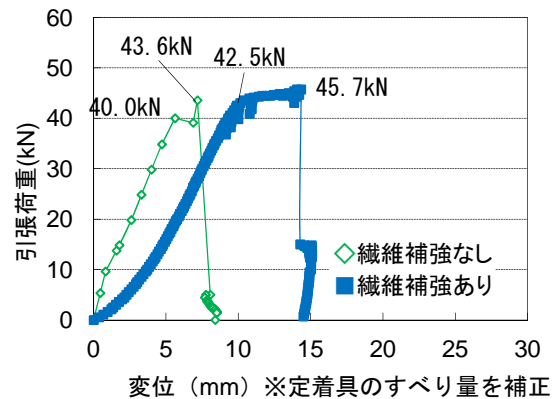
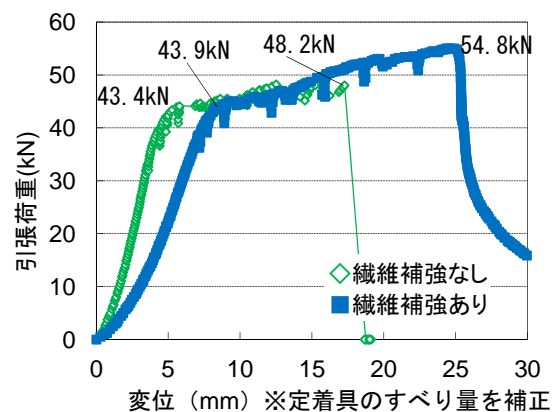


図-7 繊維混入による重ね継手強度 (D13, SD345)



(a) 重ね継手長さ 50mm



(b) 重ね継手長さ 200mm

図-8 繊維補強による重ね継手の荷重と変位の関係 (D13, SD345)

(SD295: 331N/mm²) を超過する。一方、超速硬繊維補強コンクリートを使用した場合は、鉄筋直径の 7.9 倍に相当する重ね継手長さ 100mm で、鉄筋の降伏強度 (SD345: 381N/mm²) を超える重ね継手強度になる。

5.2 重ね継手の引張荷重と変位量の関係

図-8 は W/C=40%の超速硬コンクリートに繊維補強したものと、繊維補強しないものの重ね継手強度と変位の関係を示したものである。図-8(a)の重ね継手長さ 50mm の両引き試験結果である。ポリプロピレン繊維を 1.27 Vol.%混入した供試体と、繊維補強しない供試体を比較すると、重ね継手強度の最大における変位量に違いが見られる。繊維補強なしの最大変位量が約 8mm であるのに対し、ポリプロピレン繊維補強したものの最大変位量は約 14mm で約 1.8 倍の変形性能をもつ。このことからコンクリートにポリプロピレン繊維を混入することで、異形鉄筋の重ね継手のじん性が向上することがわかる。

さらに図-8(b)は、重ね継手長さ 200mm の両引き試験の結果を示す。重ね継手長さ 200mm の場合、ポリプロピレン繊維を混入することで重ね継手強度が増加する。また重ね継手強度の最大における変位量は、繊維補強なしで約 17mm、ポリプロピレン繊維補強した供試体の最大変位量は約 25mm となる。重ね継手長さ 200mm の場合も同様に異形鉄筋の重ね継手のじん性は向上する。

5. まとめ

両引き試験による異形鉄筋の重ね継手に関する基礎的実験で得られた結果を以下に示す。

- (1) 供試体寸法を変えた両引き試験結果から、供試体の寸法が小さいと重ね継手の効果が十分に発揮できないことがわかった。
- (2) 異形鉄筋の重ね継手長さに、重ね継手強度は影響を受ける。重ね継手長はコンクリート標準示方書【設計編】に規定される鉄筋付着長のとおり、直径の 20 倍以上で十分な引張強度が得られた。
- (3) 重ね継手の繰返し載荷実験を行うと、一般的な材料の疲労特性と同じように S-N 曲線の関係が得られる。

重ね継手の応力伝達能力が十分確保されている場合、上限応力比が 0.85 を下回ると、地震で想定される数百回の繰返し荷重に耐えられるようである。

- (4) コンクリートにポリプロピレン繊維を混入した場合、異形鉄筋の重ね継手強度は 4~13%増加する。この場合、鉄筋直径の 7.9 倍に相当する 100mm と短い重ね継手長さであっても、重ね継手強度は鉄筋の降伏強度を超過することがわかった。
- (5) コンクリートにポリプロピレン繊維を混入した場合、重ね継手の最大変位が増加し、重ね継手が破壊する際のじん性が向上した。
- (6) 両引き試験の結果を整理することで、水セメント比や、重ね継手長さ、コンクリート繊維補強の有無の違いによる重ね継手強度を確かめた。この結果、各条件の重ね継手強度を把握でき、RC 連結ジョイントを検討するための基礎資料を得た。

参考文献

- 1) 青山實伸：北陸地方のコンクリート構造物の塩害に対する耐久性確保に関する研究，博士学位論文，2004
- 2) 市川貴博，長井正嗣，宮下剛，石川裕一，青山實伸：橋梁伸縮部の遊間を鉄筋コンクリートで連結した構造の活荷重による力学挙動に関する研究，第 65 回土木学会年次学術講演会，I-533，pp.1065-1066，2010
- 3) 市川貴博，長井正嗣，宮下剛，石川裕一，青山實伸：コンクリート橋遊間部を鉄筋コンクリートで連結する構造の温度変化における解析的研究，第 66 回土木学会年次学術講演会，I-510，pp.1019-1020，2011
- 4) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，社団法人 日本道路協会，2002
- 5) 大塚浩司：繰返し引張荷重を受ける重ね継手部の性状について，コンクリート工学年次論文集，Vol.3，pp.261-264，1981
- 6) 三浦尚，長谷川明巧：極低温下における鉄筋の重ね継手強度に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.3，pp.253-256，1981