

論文 RC部材の鋼板被覆における充てんモルタルの水平せん断強度

池田正志*¹・辻 幸和*²・橋本親典*³・杉山隆文*⁴

要旨：鉄筋コンクリートはりと鋼板にポリマーセメントモルタルを塗布して3日後に、両者の間に充てんモルタルを充てんして接着させたはり供試体の曲げ強度試験を行い、はりの曲げ・せん断性状および接着面における水平せん断性状の実験結果を報告した。実験要因としては、充てんモルタルの厚さ、せん断スパン内における接着面積の大きさ、鋼板の厚さを採ったが、鋼板のはく離を評価するためには、鋼板の受け持つ引張力をせん断スパン内の鋼板の接着面積で除した値で表される水平せん断応力度を提案した。この水平せん断応力度が $0.5\sim 1.3\text{N/mm}^2$ に達すると、接着していた鋼板のはく離が生じた。

キーワード：鋼板、水平せん断強度、水平せん断応力度、充てんモルタル

1. まえがき

RC橋脚の耐震補強に鋼板被覆が採用されているが、充てんされるモルタルの力学的性状については、これまでほとんど検討されていない。特に、鋼板と充てんモルタルの水平せん断性状について言及した研究成果は公表されていない。

本研究では、RCはりの全面を鋼板で被覆する場合の基礎資料を得るために、力学的により厳しい鉄筋コンクリートはりと鋼板との間に充てんモルタルを充てんさせて補強したはり供試体を作製し、曲げ強度試験を行い、これらはりの曲げ・せん断性状および接着面における水平せん断性状を実験的に検討した結果を報告するものである。実験要因としては、充てんモルタルの厚さ、せん断スパン内における接着面積の大きさ、および鋼板の厚さを採った。

2. 実験の概要

供試体は、図-1に示すように、断面が $15\times 15\text{cm}$ で、長さが 110cm の鉄筋コンクリート(RC)はりを用いた。そして、有効高さが 12cm となるようにD10の鉄筋を2本配置した。実際の補強を考慮して、RCはりの打込み後14日間湿布養生した後、鉄筋の引張応力度の計算値が 200N/mm^2 まで載荷(なお、この載荷を以後は一次載荷と称する)して、曲げひび割れを発生させた。

一次載荷の後、打込み時に下面であったコンクリートの引張縁をサンドペーパーにより削った。また、鋼板の接着面をサンドペーパーにより一様に磨き、コンクリートの引張縁および鋼板の接着面に打継ぎ材としてポリマーセメントモルタルを約 2mm 塗布した。

打継ぎ材を塗布して3日後、コンクリートの材齢が28日において、充てんモルタルを打継ぎ材のポリマーセメントモルタルも含めて、厚さが 10mm あるいは 20mm となるように、コンクリートの引張縁と鋼板との接着面の間に充てんした。充てん方法は、実験室レベルで完全な充てんを確保するために、組み立てたメタルフォーム内にRCはりと鋼板を横置きに設置し、上部より充てん

*1 群馬大学技術官 工学部建設工学科(正会員)

*2 群馬大学教授 工学部建設工学科、工博(正会員)

*3 徳島大学助教授 工学部建設工学科、工博(正会員)

*4 群馬大学助教授 工学部建設工学科、Ph. D.(正会員)

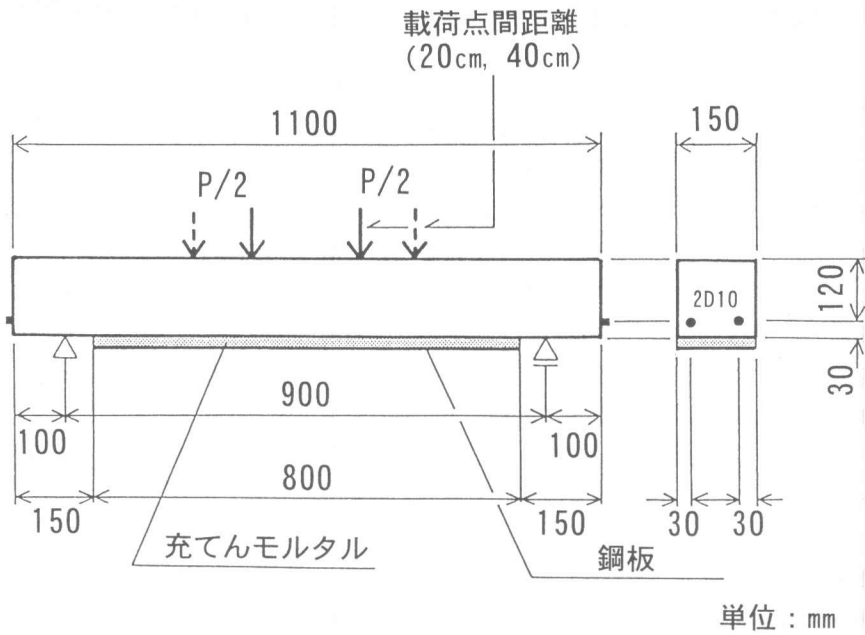


図-1 供試体形状寸法および載荷方法

モルタルを流し込むものとした(図-2参照)。載荷試験は、充填モルタルの材齢が28日となるまで湿布養生した後、スパンを90cm、載荷点間距離を20cmあるいは40cmとして、図-1に示す2点集中載荷により行った。

コンクリートの配合は、粗骨材の最大寸法を20mm、水セメント比を45%、単位セメント量を365kg/m³、単位水量を164kg/m³、細骨材率を42.4%とし、普通ポルトランドセメントを用いた。圧縮強度は、一次載荷時の材齢14日で31.9N/mm²、載荷試験時の材齢56日で42.6N/mm²であった。

充填モルタルは、水とグラウト材の質量比を17%に配合したものを、フローコーンを引き上げた時のフロー値が245であった。材齢28日の圧縮強度は65.1N/mm²であった。また打継ぎ材として使用したポリマーセメントモルタルには、ポリマーにエチレン酢酸ビニル系のものを使用した。水セメント比は35.2%、ポリマーセメント比は10.8%、フロー値は187であった。

引張鉄筋は、材質がSD 345のD 10とし、補強用の鋼板には、材質がSS 400のもので、鋼板の厚さは3.2mm、4.5mm、6.0mmの鋼板が降伏しない厚めの3種類を用いた。引張鉄筋比は0.79%で、鋼板の断面積をコンクリートの断面積で除した引張鋼材比は、鋼板の厚さが3.2mm、4.5mm、6.0mmについてそれぞれ2.13%、3.00%、4.00%である。

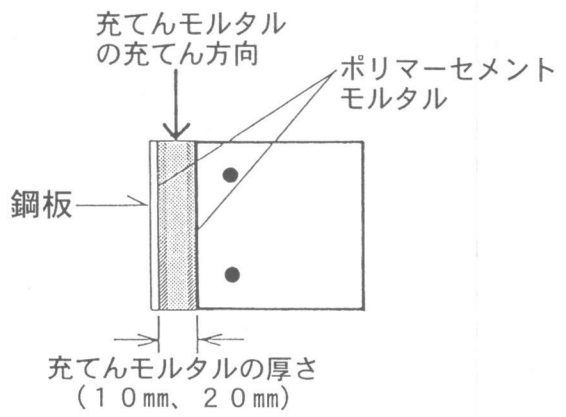


図-2 充填モルタルの充てん方法

3. 引張鉄筋のひずみ および破壊形式

鋼板を接着しないRCはりの引張鉄筋の応力度の計算値が約 200N/mm^2 になる18 kNの荷重時における引張鉄筋のひずみと鋼板の厚さとの関係を図-3に示す。鋼板が厚いほど、引張鉄筋のひずみは一般に減少する傾向にある。このことから、鋼板が厚くなると補強効果も向上することが確かめられた。

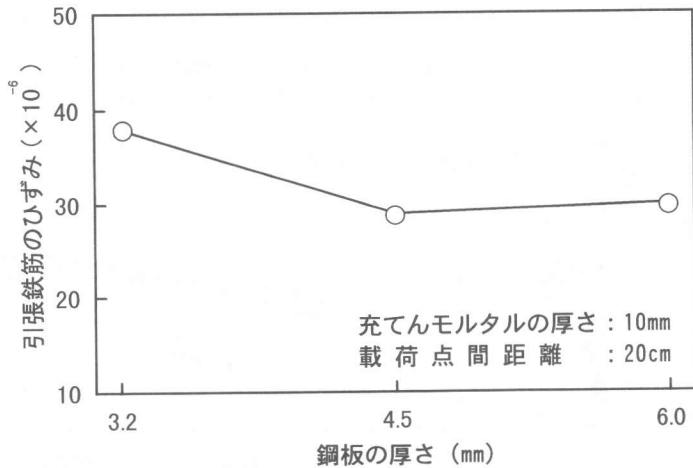


図-3 18kN時の引張鉄筋のひずみと鋼板の厚さとの関係

また、同じ荷重における鋼板を接着しないはりの引張鉄筋のひずみは 970×10^{-6} 程度と、鋼板を接着したはりよりも非常に大きく、はく離前の荷重段階においては、鋼板がはりにおける引張力の大部分を負担していたといえる。なお、引張鉄筋のひずみの 970×10^{-6} の値は、コンクリートの引張力を無視したRCはりの計算値にほぼ等しいものであった。

図-4には、充てんモルタルの厚さが10mmで鋼板を接着したはりの破壊までの引張鉄筋のひずみと荷重の関係を示す。図-3で示した18kNから荷重を増加させると、すべてのはりにおいて鋼板がはく離し、その後は、荷重の減少とともに急激な引張鉄筋のひずみの増加がみられる。そして、鋼板で補強していたはりでは、コンクリートの引張力を無視したRCの計算値に、ひずみは漸近している。最終的には、鉄筋が降伏して曲げ引張破壊を生じたが、その時の荷重は接着していた鋼板の厚さにかかわらずほぼ等しい値となった。

しかしながら、図-5に示す充てんモルタルの厚さが20mmで、載荷点間距離が20cmの6.0mm厚

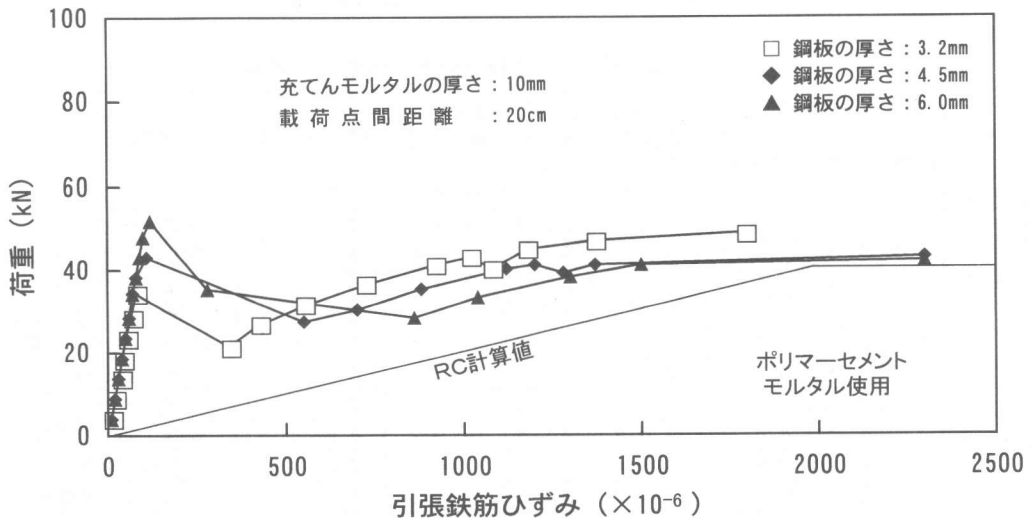


図-4 引張鉄筋のひずみと荷重との関係 (充てんモルタルの厚さ10mm)

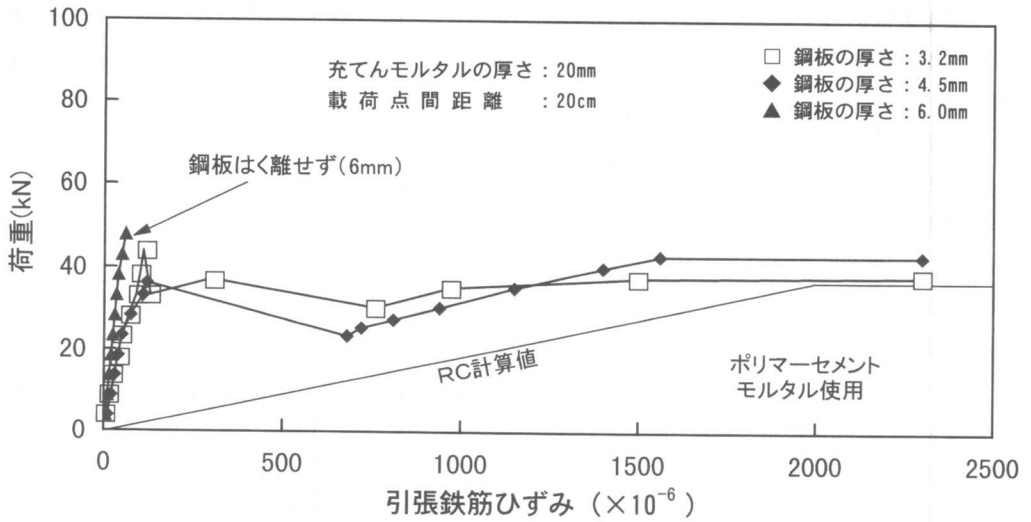


図-5 引張鉄筋のひずみと荷重との関係 (充てんモルタルの厚さ20mm)

の鋼板、および載荷点間距離が40cmの4.0mm厚と6.0mm厚の鋼板を接着したはりでは、図-6に示すように、鋼板の端部からひび割れが発生し、これが斜めひび割れに発達して、せん断破壊を生じたはりもあった。鋼板の端部においてひび割れが発生した時のコンクリート引張縁の応力度は、 $2.1 \sim 3.0 \text{ N/mm}^2$ であった。エポキシ樹脂で鋼板とコンクリートを接着した場合と同様に^{1)~3)}、鋼板がは

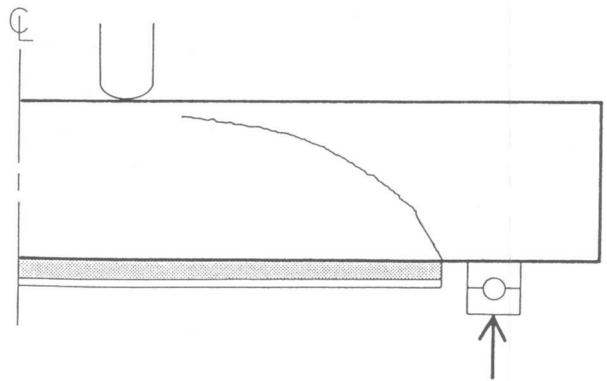


図-6 鋼板を接着させたRCはりに生じた斜めひび割れの模式図

表-1 鋼板はく離時の荷重および鋼板のひずみ

充てんモルタルの厚さ (mm)	載荷点間距離 (cm)	鋼板の厚さ (mm)	鋼板はく離時の荷重 (kN)	はく離時の鋼板のひずみ (10^{-6})	鋼板に生じた引張力 (kN)	水平せん断応力度 (N/mm^2)	破壊荷重 (kN)	破壊形式
10	20	3.2	32.3	215	21.1	0.47	49.0	はく離後、曲げ引張破壊
		4.5	43.1	245	34.0	0.76	46.1	はく離後、曲げ引張破壊
		6.0	51.9	276	51.1	1.14	51.9	はく離後、曲げ引張破壊
	40	3.2	55.9	273	27.0	0.90	69.6	はく離後、曲げ引張破壊
		4.5	64.7	247	34.3	1.14	66.6	はく離後、曲げ引張破壊
		6.0	62.7	201	37.2	1.24	64.7	せん断破壊
20	20	3.2	36.3	268	26.5	0.59	48.0	はく離後、曲げ引張破壊
		4.5	46.1	298	41.4	0.92	46.1	はく離後、曲げ引張破壊
		6.0	はく離せず	—	—	—	48.0	せん断破壊
	40	3.2	56.8	344	34.0	1.13	71.5	はく離後、曲げ引張破壊
		4.5	はく離せず	—	—	—	69.6	せん断破壊
		6.0	はく離せず	—	—	—	65.7	せん断破壊

く離する前に、鋼板端部のコンクリートに生じた引張応力度が引張強度を超えたためである。

4. 鋼板はく離時の荷重 および鋼板のひずみ

鋼板のはく離時の荷重およびその時の鋼板のひずみを、表-1に示す。鋼材のひずみは、等曲げモーメント区間の中央における引張縁の値をゲージ長が10mmのワイヤストレインゲージで測定したものである。

鋼板のはく離は、接着した鋼板の両端のいずれかにおいて、鋼板とポリマーセメントモルタル間で生じた。鋼板のはく離時の荷重と鋼板の厚さとの関係を図-7に示す。鋼板はく離時の荷重は、鋼板の厚さが増すとわずかながら増加している。また、載荷点間距離が20cmより40cmと、曲げモーメントに比べてせん断力が卓越している荷重状態の場合に、鋼板はく離時の荷重が増加している。このことは、せん断スパン内の接着面積が小さい場合に、鋼板はく離時の荷重が増加しているとも解釈できる。

ワイヤストレインゲージで測定した鋼板はく離時の鋼板引張縁のひずみは、表-1に示したように、充てんモルタルの厚さが10mmの場合で、載荷点間距離と鋼板の厚さに関わらず $200 \sim 275 \times 10^{-6}$ の範囲であった。充てんモルタルの厚さが20mmに増加した場合、鋼板がはく離した時のひずみは少し大きくなったが、鋼板が降伏するまでには至っていない。そして、鋼板のはく離の前に、3.で述べた鋼板の端部からのひび割れが斜めひび割れに発達して、せん断破壊を生じやすくなった。

5. 鋼板はく離時の水平 せん断強度

このような鋼板のはく離状況を考えると、はく離に最も関係があると思われる要因は、鋼板とポリマーセメントモルタルとの間に作用するせん断応力度と考えられる。そこで、鋼板の受け持つ引張力をせん断スパン内の接着面積で除した値を水平せん断応力度と、また鋼板のはく離時に

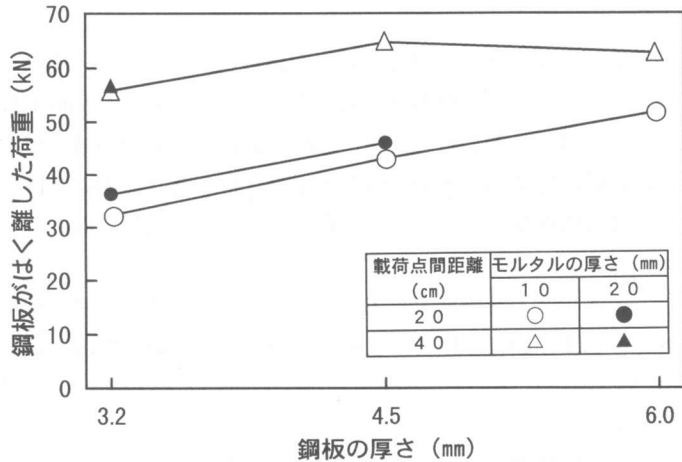


図-7 鋼板がはく離したときの荷重と鋼板の厚さとの関係

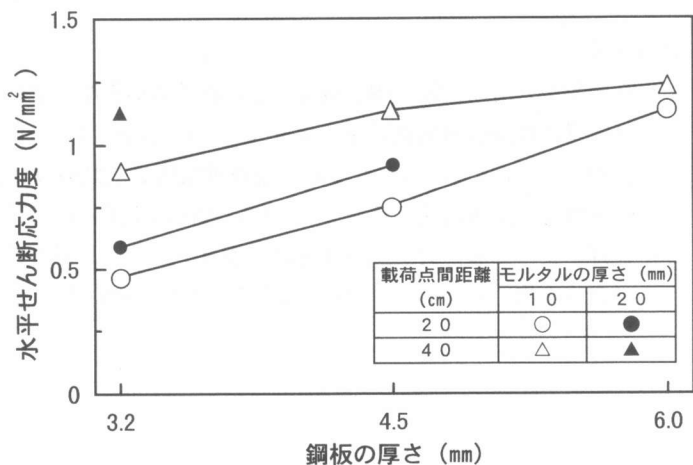


図-8 水平せん断応力度と鋼板の厚さとの関係

おける水平せん断応力度を水平せん断強度とそれぞれ称する。この水平せん断強度を図-8に示す。

充てんモルタルの厚さが10mmで鋼板を接着したはりでは、鋼板の厚さが増すと、水平せん断強度も増加している。この傾向は、充てんモルタルの厚さが20mmで接着した、荷点間距離が20cmのはりでは、等しく認められるが、荷点間距離が40cmのはりでは、鋼板の厚さが増すと、先述のように、せん断破壊が鋼板のはく離より先行したため明確ではない。充てんモルタルの厚さが10mmから20mmに増加すると、水平せん断強度が少し増加することも、薄い鋼板を接着したはりでは認められる。

そして、水平せん断強度としては、充てんモルタルの厚さ、せん断スパン内における接着面積の大きさ、および鋼板の厚さにより異なるが、 $0.5\sim 1.3\text{N/mm}^2$ の値となった。

6. まとめ

エポキシ樹脂に代わって、ポリマーセメントモルタルおよび充てんモルタルを用いて、RCはりの全面を鋼板で補強する場合の基礎資料を得るため、RCはりの下面に鋼板を配置したことによる補強効果、および鋼板がはく離するときの鋼板と充てんモルタルの水平せん断強度について実験を行った。本実験の範囲内で、次のことが言える。

- 1) 鋼板とRCはりとはが接着されている状態では、鋼板は引張鉄筋のひずみを著しく減少させており、その補強効果が認められるものの、今回の実験では鋼板自体が降伏するほどの荷重段階までは、鋼板とRCはりとは一体性を保つことはなかった。
- 2) ポリマーセメントモルタルを鋼板およびRCはり引張縁に塗布してから3日後に充てんモルタルを充てんしても、鋼板とRCはりとはを一体化させることができる。
- 3) 鋼板の受け持つ引張力をせん断スパン内の鋼板の接着部分の面積で除した値で表される水平せん断応力度が $0.5\sim 1.3\text{N/mm}^2$ に達すると、充てんモルタルをRCはりとはと鋼板の間に充てんして接着した鋼板がはく離する。

謝辞

本研究の実施には、日本化成(株)に多大なご援助を頂いた。付記して厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 真嶋光保・清原久雄：鋼板接着工法における補修厚決定に関する一考察、土木学会第41回年次学術講演会講演概要集、pp.183~184、1986.11
- 2) 横田 弘・Alan E. Vardy：鋼板を接着接合した鉄筋コンクリートはりの耐荷力、第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、pp.397~402、1989.9
- 3) 佐野 正・三浦 尚：鋼板接着によるコンクリート部材の補強設計法に関する研究、土木学会論文集、No.550/V-33、pp.117~129、1996.11