

I-78

エポキシ系接着剤を用いた鉄筋のラップ接着強度試験とその考察

北海道大学 学生員 青野 正志 北海道大学 正 員 三上 隆
 ショーボンド建設(株) 正 員 温泉 重治 開発土木研究所 正 員 中井 健司

1. はじめに

平成7年2月に「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」、いわゆる「復旧仕様」が策定された。鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能を向上させるためには、軸方向鉄筋内部のコンクリート(コアコンクリート)を帯鉄筋および中間拘束筋で十分に拘束し、じん性を確保する必要があるとされているが、施工の複雑化が懸念される。

そこで著者らは、中間拘束筋を施工する際、鋼製カプラーとエポキシ系接着剤を用いた接着継手を使用することに注目した。接着継手は、①せん孔による応力集中、繊維破断、耐荷断面積の減少がない、②重量が軽減できる、③滑らかな外面が得られ、クラックが伝搬しにくい、④異種材料の組立が可能などの優れた特徴を有し、極めて簡単な結合法として有望である。しかし、継手方式、被接合材の性質および重ね合わせ寸法など多くの因子を受けるため、個々のデータの集積が必要となる。

したがって本論文では、施工性向上と最近の接着剤¹⁾²⁾の進歩を考慮し、中間拘束筋に対し接着継手を使用することを念頭に、鉄筋のラップ接着強度を接着継手の引張実験により検討し、接着強度に関する基礎的な資料を得ることを目的としている。

2. 実験概要

実験に用いた供試体の概要図を図-1に示す。内部被着体として異形鉄筋(SD295B D16、以下鉄筋と称す)、外部被着体として鋼製カプラー(圧力配管用炭素鋼鋼管 JIS G 3454、STPG370 20A, 25A SCH80、以下カプラーと称す)を用いた。供試体は鉄筋2本を付き合わせ、その付き合わせ部をカプラーで覆い、鉄筋とカプラーの隙間にエポキシ系樹脂接着剤を充填することにより接着させた同心円状の構造である。ここで、カプラー内側には接着性を増すためにねじ切りを行った。

実験に用いた鋼材および接着剤の材料特性を表-1に示す。鉄筋、カプラーの降伏点、引張強さは、JIS規格値であり、接着剤の接着強さは今回実験に使用した接着剤の実験値を示している。

供試体は合計6体であり、その実験ケースを表-2に示す。前回の実験において、引き抜き破壊荷重値(94kN)とラップ長(75mm)を用いて $\tau = P/\pi D l$ より算出した継手における接着強さは実験に用いた接着剤の接着強さ(23.4N/mm²)とほぼ等しく、カプラー長は前述の式から決定できると示唆する結果が得られた。今回の実験では、カプラー長および接着剤厚の接着強さに与える影

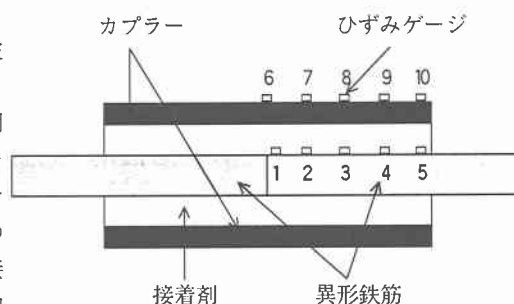


図-1 供試体概要図

表-1 材料特性

材料	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	接着強さ (N/mm ²)
異形鉄筋	294	441	-
カプラー	216	373	-
接着剤	-	-	15

Experimental Study on Adhesive Strength of Lap Joint Using Epoxy Resin.
 by Masashi AONO, Takashi MIKAMI, Shigeki ONSSEN and Kenji NAKAI

響を調べるために、この2つをパラメータとして供試体を作成した。なお、接着厚 h はねじ切りによる最小カプラー径と鉄筋径により算出した。

実験は鉄筋を固定し、引張荷重を単純載荷する形式(写真-1参照)で行い、ひずみ計測は図-1に示されるように、鉄筋に5点(継手中心から1-5番)、カプラーに5点(継手中心から6-10番)、合計10点となっている。

3. 算定式の誘導

鉄筋、カプラーのひずみおよび接着力の算定式を誘導する⁹⁾。ただし、曲げの影響、接着剤の分担力は無視し、カプラー中央に関して対称な構造と仮定する。算定式の誘導に用いたモデルを図-2に示す。異形鉄筋の弾性係数、断面積、直径を E_s 、 A_s 、 D 、鉄筋のラップ長を ℓ 、カプラーの弾性係数、断面積を、 E_c 、 A_c とし、 x 軸を図のように取る。ここで、鉄筋とカプラーの変位を δ_s 、 δ_c 、接着剤の厚さを h 、接着剤のせん断弾性係数を G 、接着強さを τ とする。

接着層では、

$$\tau = \frac{G}{h}(\delta_s - \delta_c) \quad (1)$$

鉄筋、カプラーのひずみを ϵ_s 、 ϵ_c とし、受け持つ軸力をそれぞれ P_s 、 P_c とすると、

$$\frac{d\delta_s}{dx} = \epsilon_s = \frac{P_s}{E_s A_s} \quad (2.a)$$

$$\frac{d\delta_c}{dx} = \epsilon_c = \frac{P - P_s}{E_c A_c} = \frac{P_c}{E_c A_c} \quad (2.b)$$

微小要素における異形鉄筋の軸力 P_s と接着強さのつり合い(図-3参照)より、

$$\frac{dP_s}{dx} = \tau \pi D \quad (3)$$

式(3)を x で微分し、式(1)、(2.a)、(2.b)を代入してまとめると次式となる。

$$\frac{d^2 P_s}{dx^2} - \lambda^2 P_s = -\frac{G}{h} \pi D \frac{P}{E_c A_c} \quad (4)$$

ここで、

$$\lambda^2 = \frac{G}{h} \pi D \frac{E_s A_s + E_c A_c}{E_s A_s E_c A_c} \quad (5)$$

式(4)の一般解は次式となる。ここで、 α と β は積分定数である。

$$P_s = \alpha \cosh \lambda x + \beta \sinh \lambda x + \frac{PE_s A_s}{E_s A_s + E_c A_c} \quad (6)$$

表-2 実験ケース

供試体 No.	カプラー長 2ℓ (mm)	接着剤厚 h (mm)	備考 (鋼材, ねじ切り径)
1	250	5.5	25A SCH80, M27
2	220	5.5	25A SCH80, M27
3	200	5.5	25A SCH80, M27
4	250	2	20A SCH80, M20
5	220	2	20A SCH80, M20
6	200	2	20A SCH80, M20

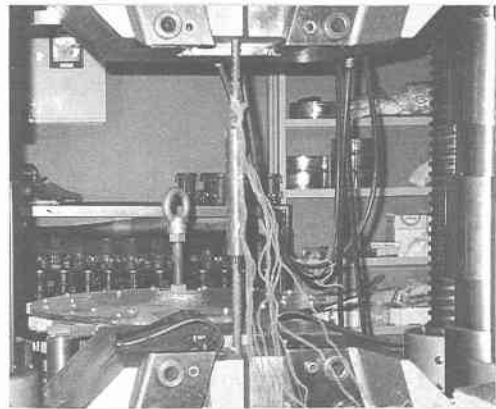


写真-1 実験の様子

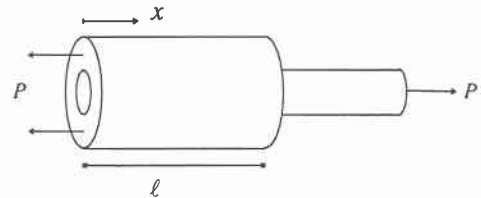


図-2 算定式誘導に用いたモデル

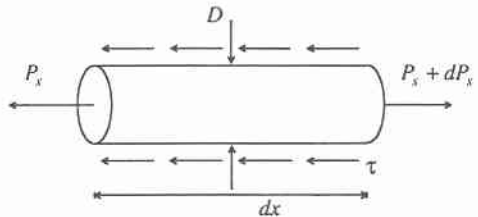


図-3 微小要素におけるつり合い

式(6)を境界条件 $x=0$ で $P_s=0$ 、 $x=\ell$ で $P_s=P$ で解くと、軸力はそれぞれ以下ようになる。

$$P_s = \frac{PE_s A_s}{E_s A_s + E_c A_c} \left[1 - \cosh \lambda x + \left\{ \frac{E_c A_c}{E_s A_s} + \cosh \lambda \ell \right\} \frac{\sinh \lambda x}{\sinh \lambda \ell} \right] \quad (7.a)$$

$$P_c = \frac{PE_c A_c}{E_s A_s + E_c A_c} \left[1 + \frac{E_s A_s}{E_c A_c} \cosh \lambda x - \left\{ 1 + \frac{E_s A_s}{E_c A_c} \cosh \lambda \ell \right\} \frac{\sinh \lambda x}{\sinh \lambda \ell} \right] \quad (7.b)$$

したがって、ひずみは式(2.a)、(2.b)より、

$$\varepsilon_s = \frac{P}{E_s A_s + E_c A_c} \left[1 - \cosh \lambda x + \left\{ \frac{E_c A_c}{E_s A_s} + \cosh \lambda \ell \right\} \frac{\sinh \lambda x}{\sinh \lambda \ell} \right] \quad (8.a)$$

$$\varepsilon_c = \frac{P}{E_s A_s + E_c A_c} \left[1 + \frac{E_s A_s}{E_c A_c} \cosh \lambda x - \left\{ 1 + \frac{E_s A_s}{E_c A_c} \cosh \lambda \ell \right\} \frac{\sinh \lambda x}{\sinh \lambda \ell} \right] \quad (8.b)$$

また、接着強さ τ は式(3)と式(7.a)より次式となる。

$$\tau = \frac{\lambda}{\pi D} \frac{PE_s A_s}{E_s A_s + E_c A_c} \left[-\sinh \lambda x + \left\{ \frac{E_c A_c}{E_s A_s} + \cosh \lambda \ell \right\} \frac{\cosh \lambda x}{\sinh \lambda \ell} \right] \quad (9)$$

4. 実験結果と考察

今回の実験では全ての供試体において、母材である鉄筋部が降伏した後、引き抜けるという結果であった。その破壊荷重と鉄筋のラップ長の関係を図-4に示す。ここで、計算値とは接着強さ $\tau=15$ (N/mm²) として $P=\pi D \ell \tau$ より算出した値である。鉄筋の降伏が見られたのは引張荷重が約63kNであり、どの供試体においてもほぼ等しかった。その後荷重が増加すると、カプラー端部から鉄筋が徐々に引き抜け、最終的には荷重が解放した。引き抜ける原因として鉄筋の伸びによる接着強さの損失および接着剤の破壊による荷重伝達の消失が大きく関与していると考えられる。実験値と計算値を比較すると供試体No.3を除き、実験値の方が大きく、ラップ長が短くなると差が大きくなっている。破壊荷重から算出した接着強さとカプラー長の関係として示すのが図-5である。前述したようにカプラー長が短い方が、破壊荷重と計算値の差が大きかったことに対応し、 $\tau=P/\pi D \ell$ より算出した接着強さも大きな値となっており、ラップ長100mmは125mmの約1.1倍であった。接着剤厚に関しては図-4、5に示す通り、今回の実験ではあまり違いが見られなかった。

図-6.a、bに鉄筋およびカプラーの荷重-ひずみ曲線を示す。これ以降の図は全て供試体No.1のデータを用いている。○で囲まれた数字はゲージ番号を表す。カ

プラー内鉄筋は端部から降伏し、徐々に内部へと降伏範囲が進むが、カプラーの場合は鉄筋降伏後も比例的にひずみの増加が見られ、カプラー自身も降伏が見られなかった。続いて、鉄筋およびカプラーの軸方向ひ

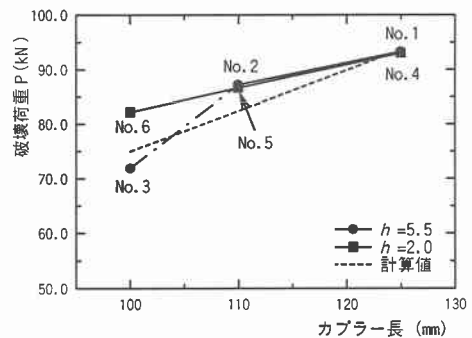


図-4 破壊荷重-カプラー長 関係図

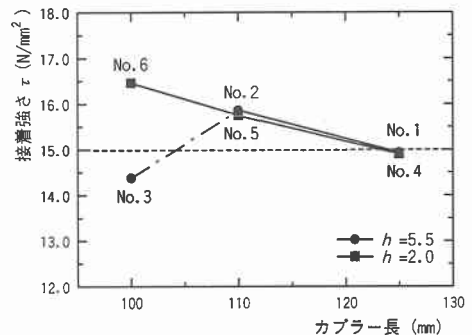


図-5 接着強さ-カプラー長 関係図

ずみ分布を図-7.a、bに示す。鉄筋のひずみはカプラー中央部においてゼロであり、端部に向かうにつれて大きくなる。それに対して、カプラーの軸方向ひずみ分布は、中央部においてひずみは最大値を示し、端部に近づくにつれてひずみはゼロになる。破線で示される曲線は式(8,a)、(8,b)より算出した10、20、30kNにおける鉄筋とカプラーのひずみを示し、それぞれ○、●、△に対応する。カプラー端部において、

鉄筋のひずみは荷重が増加するにつれ計算値との差が大きくなる。これはカプラー端部での応力集中による影響と考えられ、鉄筋に対応する地点におけるカプラーのひずみが小さいことからそのように考えられる。図-8に軸方向接着強さ分布を示す。値は図-7に示される鉄筋とカプラーのひずみからそれぞれ接着強さを算出し、平均を取ったものである。図には引張荷重が10kN、30kN、50kNの場合における実験値と計算値を示した。実験値、計算値とも荷重が増加するにつれカプラー中央部および端部の接着強さが卓越し、最終的に接着剤の剥離と破壊につながると考えられる。

5.まとめ

本論文では、エポキシ系接着剤を鉄筋のラップ接着強度を樹脂接着継手の引張試験により検討した。カプラー長および接着剤厚をパラメータとして実験を行った。得られた結果をまとめて以下に示す。

- 1)ラップ長を長くすると破壊荷重は比例的に増大するが、接着剤厚の影響はあまりないと思われる。
- 2)鉄筋はカプラー端部から降伏し、内部へと降伏範囲が進むが、カプラーは弾性範囲内でのひずみ増加にとどまっていた。また、カプラー端部で鉄筋に応力集中が見られる。
- 3)接着強さはカプラー中央部および端部で卓越し、接着剤の剥離および破壊につながるとと思われる。

最後に、本論文をまとめるに当たり、実験、計測、供試体の作成等で開発土木研究所、計測技販(株)、(財)北海道コンクリート技術センターの皆様およびショーボンド建設(株)近藤氏に多大のご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

<参考文献>

1)小川俊夫:工業技術者の高分子材料入門、共立出版、1993 2)日本接着協会編:接着ハンドブック(第2版)、日刊工業新聞社、1980 3)林毅編:複合材料工学、日科技連、1979

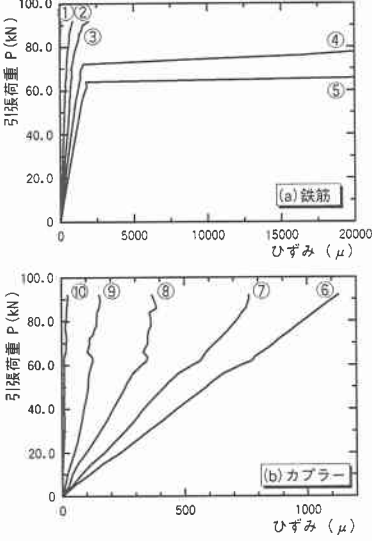


図-6 荷重-ひずみ曲線(No.1)

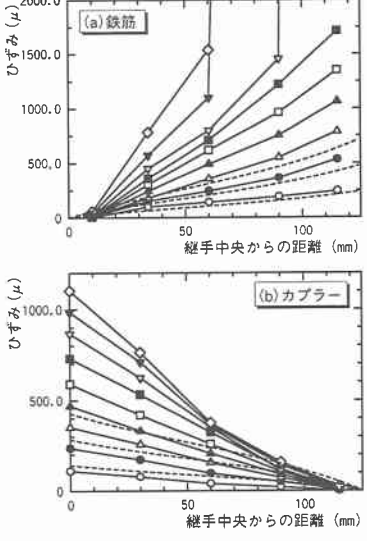


図-7 軸方向ひずみ分布(No.1)

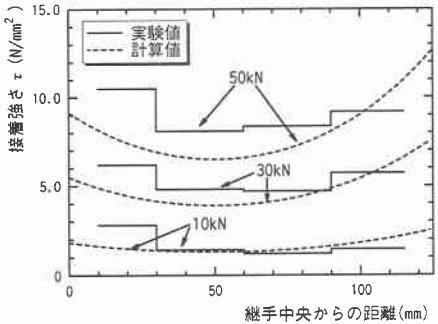


図-8 軸方向接着強さ分布