

あと施工プレート定着型せん断補強鉄筋で補強した RC 梁載荷実験のシミュレーション解析

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○河村 圭亮, 正会員 畑 明仁

1. はじめに

著者らは主に地中 RC 構造物を対象としたあと施工プレート定着型せん断補強鉄筋¹⁾(以下, PHB と略記)による耐震補強工法を開発してきた。補強後のせん断耐力は, 修正トラス理論のせん断補強鉄筋負担分に PHB 端部の小型円形プレートの定着性能が標準フックより低下することを考慮した有効係数を乗じて評価できることを部材実験で検証している¹⁾。本研究では, 端部定着に着目して, 太径の両端円形プレート型 PHB で補強した RC 梁載荷実験のシミュレーション解析を行い, 補強後の部材性能を評価可能な解析手法について検討した。

2. 解析概要

解析対象は, 図-1 に示す鉄筋径 D29 の両端円形プレート型 PHB (写真-1 参照) をあと挿入して補強した RC 梁試験体の正負交番載荷実験である。UC-win/WCOMD (Ver.2.02.02) を用いて, 材料非線形性を考慮した 2 次元有限要素解析を実施した。離散的な PHB の配置を考慮して, 鉄筋との付着でひび割れ分散が期待できる領域は分散ひび割れモデルを適用した RC 要素, その他の領域は無筋要素でモデル化し, 奥行方向に 2 つの平面要素を節点共有で重ね合わせた疑似 3 次元解析とした²⁾。

上下 2 つの載荷点での変位制御にて, 実験同様のサイクルで正負交番載荷解析を Case1~3 の 3 ケースで実施した。Case1 は, PHB を通常の標準フックを有するせん断補強鉄筋と見なして主鉄筋間に配置したものとした。Case2 は, PHB 両端部から必要定着長 l_y (D29 の場合, 鉄筋径 D の 5.5 倍)¹⁾の半分の区間を無筋とした。これは, 定着不良が生じたせん断補強鉄筋の解析検討事例²⁾で, 端部から一定長さの無筋区間を設ける手法があり, この考え方を踏襲したものである。Case3 は, l_y 区間の鉄筋降伏強度を 0.5 倍とした。

PHB による補強設計で, 両端円形プレート型 PHB が負担できる応力分布は, 図-2 に示すように l_y 区間で負担できる応力を線形で仮定している¹⁾。これに対して, Case1~3 のモデル化に対応する応力分布を図中に併せて示すが, Case2,3 は PHB 負担応力面積が設計の考えと等価になるよう設定した。解析モデルは, 対称性を考慮した 1/2 モデルとし, 一例として Case3 のものを図-3 に示す。

3. 解析結果および考察

せん断耐力について, 各設計式による実強度での計算結果, 各ケースの解析結果, 実験結果を併せて表-1 に示す。また, 各ケースの最大せん断力時における最大主ひずみ分布を表-2 に, 実験終了後のひび割れ状況を写

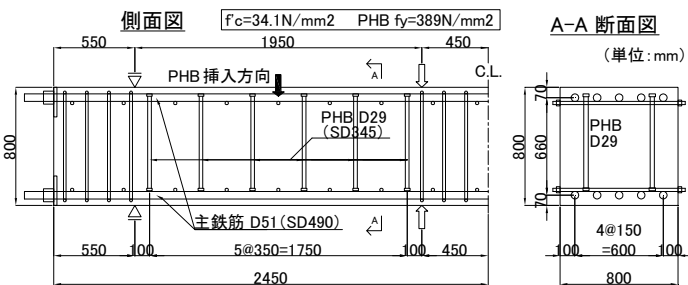


図-1 PHB で補強した RC 梁の正負交番載荷実験



写真-1 両端円形プレート型 PHB

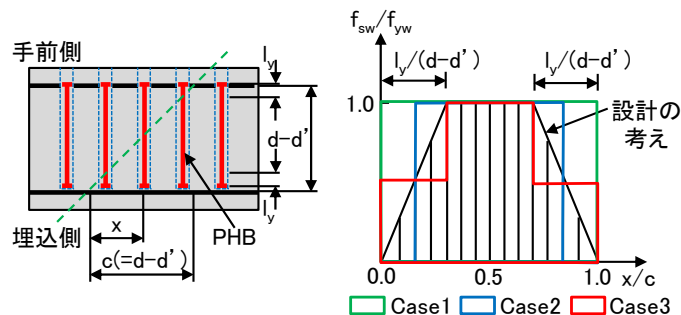


図-2 斜めひび割れ内の PHB 負担応力分布

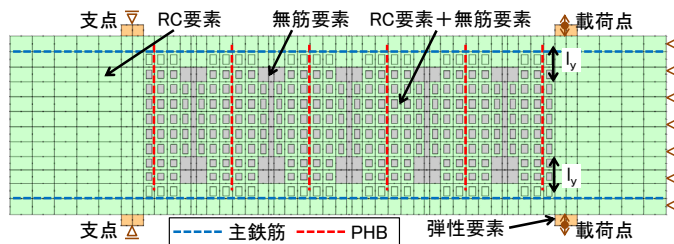


図-3 解析モデル (Case3)

キーワード あと施工プレート定着型せん断補強鉄筋, 耐震補強, せん断破壊, FEM 解析, 定着性能

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7227

表-1 セン断耐力

	設計計算式 (安全係数: 1.0)			解析結果			実験結果*	
	二羽式 +トラス理論	コンクリート 標準示方書	PHB設計式 ¹⁾	Case1	Case2	Case3	正載荷	負載荷 [参考]
せん断耐力	1,534 kN	1,399 kN	1,180 kN	1,704 kN	920 kN	1,275 kN	1,275 kN	1,352 kN

*実験は正載荷で先にせん断耐力に達した。

表-2 最大せん断力時の最大主ひずみ分布

解析 ケース	【Case1】 通常のせん断補強鉄筋想定	【Case2】 $l_y/2$ 区間→無筋	【Case3】 l_y 区間→鉄筋降伏強度0.5倍	(μ) 20000 15000 10000 5000 0
最大 主ひずみ 分布				

真-2 にそれぞれ示す。

Case1 のせん断耐力は、二羽式+トラス理論による計算結果の 1.11 倍であり、数多くの実験結果を整理した既往の知見³⁾より妥当な結果であると判断できる。

Case2 のせん断耐力は、実験結果の 0.72 倍で、PHB 両端部の無筋区間に沿ってひずみが大きくなっており、耐力、破壊モードともに実験結果とは大きく異なる。これより、定着不良が生じたせん断補強鉄筋とは異なり、定着プレートをも有する PHB は端部付近でも幾らかの応力負担が期待できるものと考えられる。そのため、PHB の解析上のモデル化として、端部に一定長さの無筋区間を設ける手法は必ずしも適切ではないと言える。

Case3 のせん断耐力は、実験結果の 1.00 倍である。また、斜めひび割れが分散して生じた後に、1 本の斜めひび割れと主鉄筋に沿ったひび割れが大きく開口した実験の破壊モードと類似した挙動を示すひずみ分布が

得られた。Case3 のせん断力-中央鉛直変位関係を実験結果と併せて図-4 に示すが、繰返し履歴も含めて概ね実験の挙動を評価できている。なお、本解析手法では 1 つの積分点でせん断ひずみが 10% に達した時点で計算終了となるため、正側で最大せん断力に達した後の履歴までは追えていない。Case3 の結果より、PHB の解析上のモデル化として、両端部 l_y 区間の鉄筋降伏強度を 0.5 倍とすることで概ね実験の挙動を評価できた。

Case3 の結果を Case1 と比較すると、PHB 両端部で負担できる応力が低下することで、主鉄筋に沿ったひずみの進展が若干早くなる。これに伴って、斜めひび割れが生じる主鉄筋間でのひずみ分布領域が狭くなっており、端部定着性能の違いがせん断耐力に影響を及ぼしているものと考えられる。この点についての差異はあるものの、通常のせん断補強鉄筋を用いた場合と、せん断耐荷機構が大きく変わると言えるほどのひずみ分布性状の変化は見られていない。そのため、PHB による補強後のせん断耐力を修正トラス理論に有効係数を乗じて算出する手法は、実験結果を安全側に評価できていることに加え、今回の解析検討結果からも合理的なものであると考えられる。

4. まとめ

本研究では、2 次元有限要素法により鉄筋径 D29 の両端円形プレート型 PHB で補強した RC 梁載荷実験のシミュレーション解析を行った。PHB の解析上のモデル化として、両端部 l_y 区間の鉄筋降伏強度を 0.5 倍とすることで、せん断耐力および破壊モードについて概ね実験の挙動を評価できた。また、PHB による補強後のせん断耐力算出法が合理的なものであることを解析結果からも明らかにした。

参考文献 1) 土木研究センター：建設技術審査証明報告書（建技審証第 0522 号）後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」, 2016. 2) 半井健一郎ほか：離散配置補強筋による既設 RC 部材のせん断補強効果, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.1, pp.116-126, 2007. 3) 中田裕喜ほか：せん断スパン比に対する連続性を考慮した RC 棒部材の設計せん断耐力算定法, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.4, pp.462-477, 2013.



写真-2 実験終了後のひび割れ状況

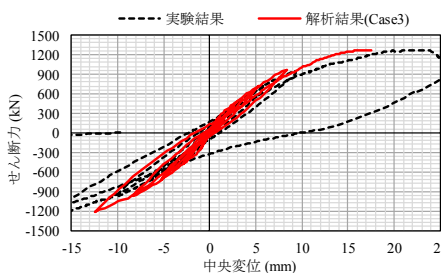


図-4 セン断力-中央鉛直変位関係