

FEM 解析を用いた壁式橋脚正負交番実験の評価

九州工業大学大学院 学生会員 内田悟史
株式会社ウエスコ 正会員 二井伸一

九州工業大学 正会員 幸左賢二
阪神高速道路 正会員 志村敦

1. はじめに

RC 橋脚の変形性能を向上させる手段として、中間帯鉄筋の使用が挙げられる。しかし、通常用いる半円形フックを有する中間帯鉄筋では施工性の低下が著しい。そこで、施工性の向上を図った中間帯鉄筋を用いた壁式橋脚の正負交番载荷実験を行った。ついで、2 次元 FEM 解析によって実験結果の評価を試みた。

2. 正負交番実験

図-1 に実験供試体を示す。(a) 断面形状が長方形の壁式橋脚を対象としている。中間帯鉄筋のフック形状をパラメータとした 2 体の供試体を用いた。(b) 標準型の実験ケースは、通常用いられる半円形フックを配置した供試体である。提案型の実験ケースは、施工および整形が簡便な直角フックを配置した供試体である。1.0N/mm² 相当の軸力を载荷させた状態で、水平载荷により正負交番载荷を行った。

図-2 に 2 体の供試体の荷重-変位関係を示す。軸方向鉄筋が降伏した時点の水平変位を δ_y とする。図より、標準型供試体では荷重が 328kN、変位 10.2mm に達した時点で軸方向鉄筋に降伏ひずみ(1890 μ)が発生した。3 δ_y (30.6mm) 時に最大荷重 374kN を示し、6 δ_y (61.4mm) 時まで荷重をほぼ保持したが、その後、被りコンクリートの剥離・剥落とともに荷重が低下し始めた。提案型供試体においても同様の破壊がみられたが、変位 60mm 以降に荷重の減少が著しいことがわかる。

図-3 に提案型供試体のひび割れ状況を示す。(a) 5 δ_y (=62.0mm) 時に至ると、図に示すように橋脚側面がかぶりコンクリートの剥離、剥落が確認され、6 δ_y (=74.4mm) 時には橋脚側面においてコアコンクリートの破損や軸方向鉄筋の座屈の発生が目視で確認できた。(b) その後、基部から 630mm の範囲で剥落が進展し、コアコンクリートの損傷や座屈の進展が顕著になり、実験が終了した。

表-1 に各実験ケースの変位と荷重一覧を示す。2 ケースを比較すると、最大荷重時は大きな差異はみられない。主鉄筋降伏荷重 P_y まで荷重が減少した変位を比較すると、標準型で 71.5mm であったのに対し、提案型は 66.1mm となり、若干早い段階で荷重の減少が生じていることがわかる。これは、提案型の直角フックを用いた場合、帯鉄筋の拘束力が弱く、コアコンクリートの拘束効果が低下したためと考えられる。

3. FEM 解析

2 次元弾塑性 FEM 解析によって実験結果の評価を行った。コンクリートのひび割れモデルには固定ひび割れモデルを用い、鉄筋にはコンクリートと完全付着型の埋め込み鉄筋要素を用いている。

図-4 にコンクリートの応力-ひずみ関係を示す。パラメータとしたのは中間帯鉄筋の拘束効果に影響を及ぼすと考えられる f'_{ck} 以後の

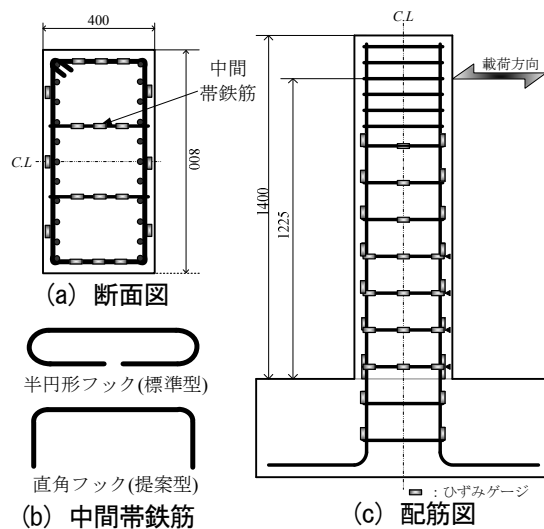


図-1 実験供試体

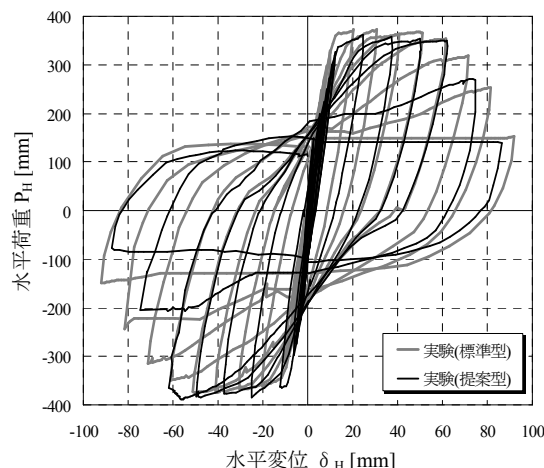


図-2 荷重-変位関係

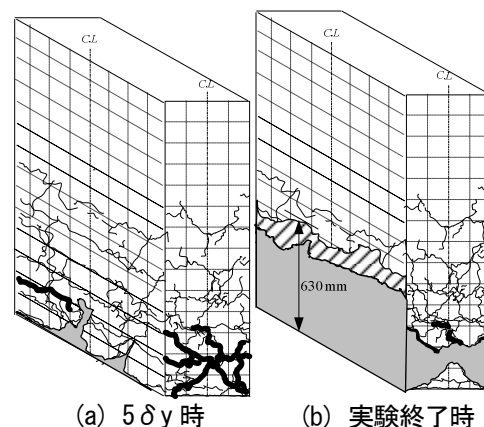


図-3 ひび割れ状況(提案型)

表-1 各実験ケースの比較

	主筋降伏変位 δ_y [mm]	最大荷重 P_{max} [kN]	P_y 低下変位 [mm]
標準型	10.2	374.0	71.5
提案型	12.4	361.6	66.1

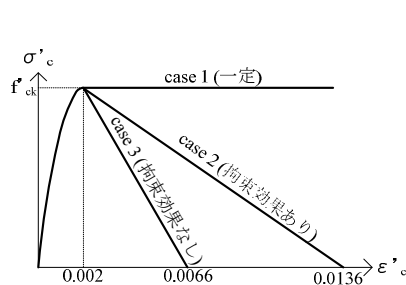


図-4 コンクリート応力-ひずみ
関係(圧縮域)

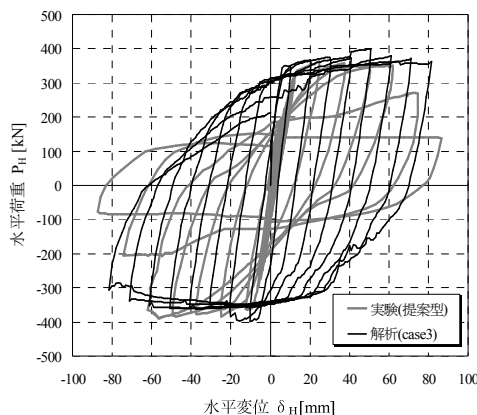


図-5 荷重-変位関係(解析 case3)

軟化勾配である。case2 は道路橋示方書より、帯鉄筋および中間帯鉄筋の拘束効果を考慮した軟化勾配としたケースである。case3 は帯鉄筋の拘束効果は考慮しているが、中間帯鉄筋は配置していないとした場合の軟化勾配としている。以上の3ケースの解析を行った。

図-5 に解析 case3 と提案型供試体実験の荷重-変位関係を示す。図に示すように、 $\delta_H \approx 60\text{mm}$ までは、解析結果は実験と同様の荷重であった。しかし、実験では $\delta_H \approx 60\text{mm}$ 以後、荷重が減少し始めるのに対し、解析では実験ほどの荷重減少はみられなかった。

図-6 に解析の $+6\delta_y$ 時における最大主ひずみ図を示す。図より、橋脚基部から 320mm までの領域において、 25000μ を超えるひずみが広く分布している。これは、実験でみられた基部のコンクリート剥離、剥落に対応しているものと考えられる。特に、基部に曲げによるひずみの分布がみられ、最大で 138000μ と非常に大きなひずみの進展がみられる。

4. 各解析ケースの破壊性状の比較

実験結果を参考に、各解析ケースで生じると想定される座屈現象を検討した。図-7 に実験における主鉄筋のひずみ分布を示す。荷重状態は図中に示すように主鉄筋配置側が圧縮域となっている状態である。図より、実験で座屈が生じ始める $-5\delta_y$ に、基部から約 200mm の範囲で圧縮ひずみが大きく進展することがわかる。この時、図中の座屈判定領域において発生している平均ひずみは約 -16443μ であった。

次に、実験結果を用いて解析結果の座屈開始変位を定義した。図-8 に解析 case3 の主鉄筋ひずみ分布を示す。実験と同様の座屈判定領域における平均ひずみが -16443μ となった時点解析上の座屈と定義した。図-9 に全解析ケースの荷重-変位関係と座屈発生時を示す。解析上で定義された座屈発生変位は case2 が $4\delta_y (40.8\text{mm})$ 、case3 が $3\delta_y (30.6\text{mm})$ となり、約 10mm の差異がみられた。これは、図-4 に示すように、case3 は拘束効果を全く考慮していないために生じたと考えられる。一方、実験の座屈開始変位は標準型、提案型共に変位約 60mm であり、差異がない。つまり、実験のフック形状の違いは、図-4 に示す case2 と case3 ほど拘束効果に影響しないと考えられる。

5. まとめ

- (1) 直角フック形状を有する中間帯鉄筋を用いた場合、拘束効果の違いにより、8%程度変形性能が低下する。
- (2) 解析では、拘束効果の違いにより、座屈発生変位に 10mm 程度の差異がみられたが、実験では座屈発生変位に差異がみられないことから、拘束効果に及ぼすフック形状の影響は、解析の応力-ひずみモデルの違いよりは小さいと考えられる。

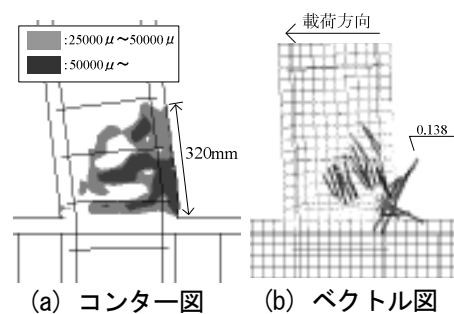


図-6 最大主ひずみ図 ($+6\delta_y$)

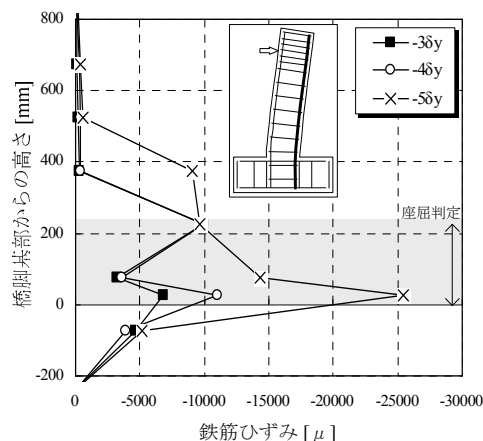


図-7 主鉄筋ひずみ(実験, 提案型)

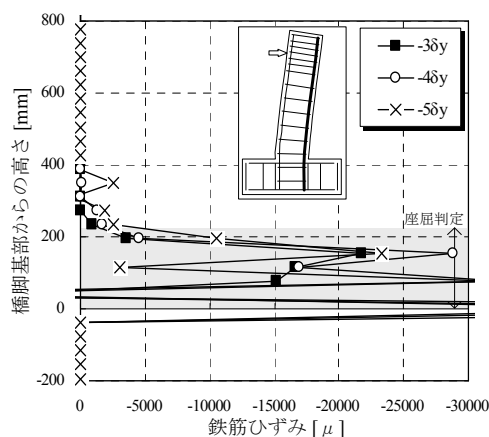


図-8 主鉄筋ひずみ(解析 case3)

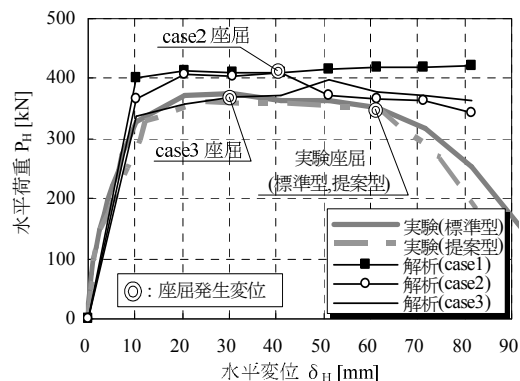


図-9 荷重-変位関係(包絡線)