

コンクリートに埋設された突起付きH形鋼の引抜き耐力に関する解析モデルの検討

川鉄橋梁鉄構(株) 正会員 ○神田恭太郎 正会員 熊野拓志
 前田建設工業(株) 正会員 原 夏生 正会員 松林 卓

1. はじめに

柱脚部の鉄骨コンクリート構造に突起付きH形鋼（ストライプH、以下SHと略す）を用いる複合ラーメン橋の剛結部においては、曲げモーメント等による上揚力は上部工側に埋め込まれたSHの付着抵抗により柱脚部に伝達される。この付着抵抗は、鋼材とコンクリートの界面における接着力、摩擦力および突起による機械的抵抗の総和であり、一般にその耐力は実物大もしくは縮小サイズの供試体を用いた実験により決定される。ここで、付着抵抗のメカニズムを3次元有限要素解析にて再現できれば、より合理的な構造検討が可能となる。本研究は、引抜き耐力に関する実験結果¹⁾をもとに、解析のモデル化手法を検討するものである。

2. 突起部のモデル化

本研究の対象とする突起は、H形鋼の圧延時にフランジ外面に成型される高さ1.5mm、間隔15mmの横筋状のものである。この突起寸法は剛結部の構造寸法と比較して非常に小さいため、3次元有限要素解析のモデル作成時に突起を忠実にモデル化することは合理的ではない。

ここで、突起とコンクリートの付着抵抗のうち機械的抵抗は、突起側面における支圧抵抗と両者の相対ずれに連動して増加する抗力による摩擦抵抗に分けられる。また、支圧の作用しない突起側面においては両者の剥離が生じる。この現象は、汎用の有限要素解析ソフトに標準装備されているインターフェース要素で、接触面の法線方向の開口および法線方向と接線方向応力の相互作用によってすべりが生じるとするクーロン摩擦モデル（図-1参照）や2方向バネモデル（図-2参照）を用いて表すことが可能と考えられる。

3. 引抜き実験の再現

本研究における解析コードはDIANA Ver8.1とし、コンクリート材料にはコンクリート標準示方書²⁾に準じた材料非線形を考慮した。また、本論文における解析対象である引抜き実験の供試体の概念図は図-3に示す通りであり、突起付きH形鋼の定着長は190mm、コンクリート呼び強度は30N/mm²である。

3.1 突起部の付着メカニズムのモデル化

本研究では、まずクーロン摩擦モデルを用いて突起部の付着メカニズムをモデル化することを試みた。クーロン摩擦モデルの設定においては、突起一つに対する平面応力モデルを用いて、パラメータ解析により粘着力C、内部摩擦角 ϕ およびダイレタンシー角 ψ を算定した。図-5は平面応力モデルによる主応力のベクトル図であり、突起とコンクリート界面に作用する主応力の

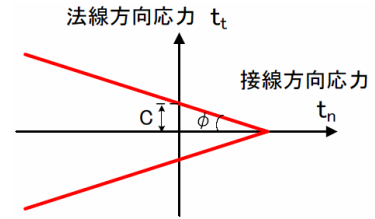


図-1 クーロン摩擦モデルの概念

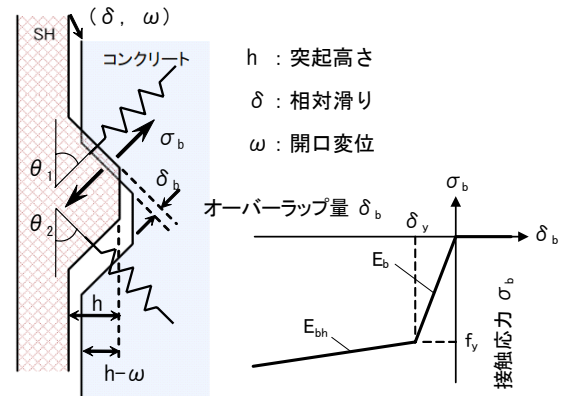


図-2 2方向バネモデルの概念

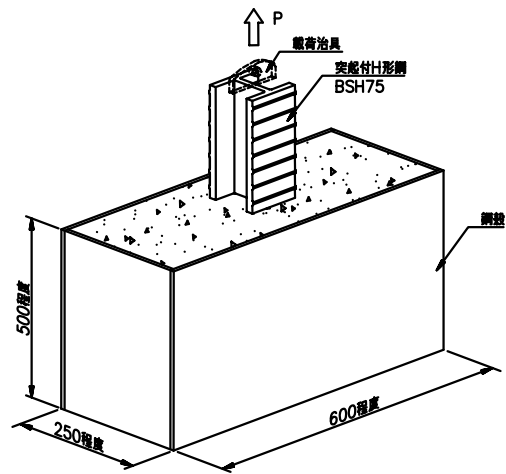


図-3 引抜き実験供試体の概念図

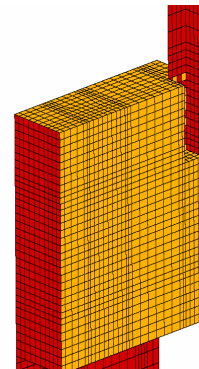


図-4 供試体の解析モデル(1/4対象)

キーワード：突起付き形鋼、コンクリート、引抜き耐力、FEM解析

連絡先：〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号 TEL：03-5825-1757 FAX：03-5825-1697

方向は 43.62 度であることを示している。

3.2 クーロン摩擦モデルによる実験の再現

突起部の鋼・コンクリートの界面にクーロン摩擦モデルを用いて、立体解析により図-4 に示す実験供試体の引抜き耐力を求めた。解析モデルにおいて、コンクリートは 8 節点ソリッド要素、鋼部材は 4 節点シェル要素、せん断補強鉄筋およびスタッドジベルは埋込鉄筋要素を用いた。また、突起面以外の鋼・コンクリートの界面にはダイランシー角 $\phi = 0$ 度、摩擦係数 $\tan \phi = 0.40$ とするクーロン摩擦モデルのインターフェース要素を用いた。

解析結果のうち荷重と鋼・コンクリートの相対変位の関係は、図-6 に示す通り実験結果と概ね一致させることができた。なお、図中には後述する 2 方向バネモデルによる解析結果も併記している。表-1 はクーロン摩擦モデルの要素特性を示すが、このうち初期剛性は図-6 の解析値を実験値に一致させるためのパラメータ解析によって定めたものである。

また、図-7 は解析によるひび割れ状況を示すが、図-8 に示す実験結果を精度良く再現しているといえる。

3.3 2方向バネモデルによる実験の再現

クーロン摩擦モデルの適用条件は、鋼・コンクリートの離間距離が突起高を超えない範囲に限定される。そのため、別法である 2 方向バネモデルを用いた立体解析により引抜き耐力や鋼・コンクリートの離間距離を求めた。

解析結果のうち荷重と鋼・コンクリートの相対変位の関係は図-6 に示す通りで、クーロン摩擦モデルより実験結果との差異はあるものの、概ね実験結果に一致させることができた。差異の要因には簡易的にバネの設定角度を 45 度にしたこと等が挙げられ、解析精度アップの余地はある。このときの 2 方向バネモデルの要素特性は表-2 に示す通りである。また、最大離間距離は突起高さを越えていないことが確認できた。すなわち、前節で述べたクーロン摩擦モデルの適用条件は満たされており、解析結果は妥当であることが裏付けられた。

4. まとめ

本研究では、コンクリートに埋設された突起付き H 形鋼の引抜き耐力に関する解析において、鋼とコンクリートの界面にクーロン摩擦モデルや 2 方向バネモデルを用いることが有効であることを明らかにした。

今後は対象モデルを増やして設定定数の汎用性や解析精度について検証するとともに、剛結部の全体構造を対象としてモデル化の手法を検討する予定である。

参考文献

- 熊野, 神田, 赤坂, 原: 突起付き形鋼を用いた合成材料橋と SC 柱脚剛結部の引抜き耐力に関する実験的研究, 年次学術講演会講演概要集, 土木学会, Vol. 60, CS2-032, 2005 年 9 月
- 土木学会: 2002 年制定コンクリート標準示方書「構造性能照査編」, 2002. 3

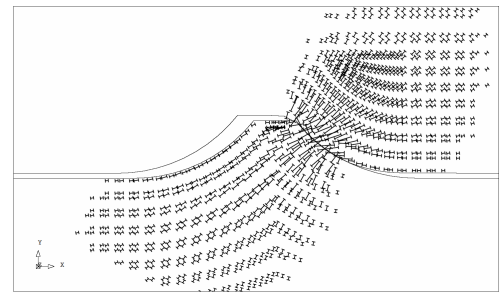


図-5 平面モデルの主応力ベクトル図

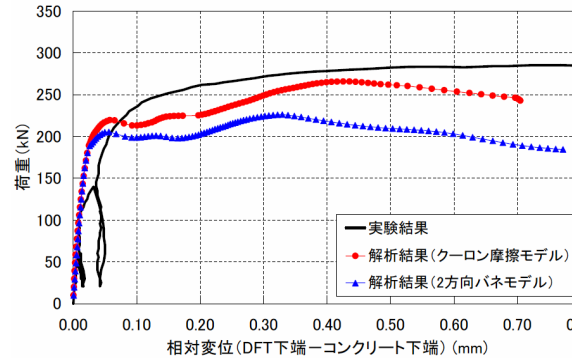


図-6 荷重-相対変位関係の比較

表-1 クーロン摩擦モデルの要素特性

部位	モデル	初期剛性 (N/mm ² /mm)	粘着力C (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (摩擦係数 $\tan \phi$)	ダイランシー 角 ψ ($\tan \psi$)
突起部	クーロン摩擦	1.0×10^3	1.1327	43.62度 (0.9528)	45.79度 (1.0281)
その他	クーロン摩擦	1.0×10^5	0.01	21.80度 (0.40)	0.00度 (0.00)

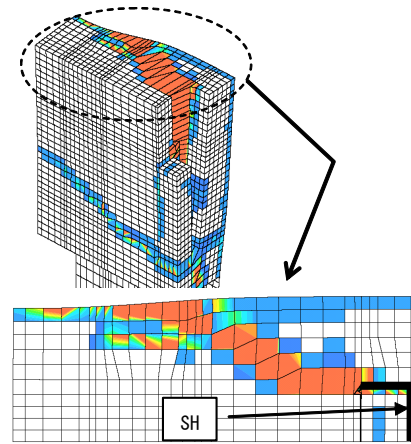


図-7 クーロン摩擦モデルによるコンクリートのひび割れひずみの分布

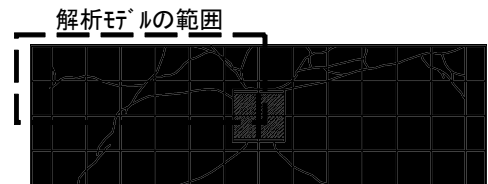


図-8 引抜き実験におけるひび割れ状況

表-2 2方向バネの要素特性

2方向バネモデルのパラメータ		値
バネ方向($\theta 1, \theta 2$)		45.00
突起斜面の法線方向の初期剛性Eb(ES)(N/mm ² /mm)		2.0×10^3
突起斜面の法線方向の二次勾配Ebh(ESH)(N/mm ² /mm)		20.0
突起効果のないフランジ幅方向の初期剛性(ES)(N/mm ² /mm)		1.0×10^3
降伏値fy(FY)(N/mm ²)		25.0
突起高さh(WMAX)(mm)		1.5