

鋼・コンクリート境界面のモデル化に着目したコンクリート充填鋼管柱(CFT)の弾塑性挙動に関する解析的研究

前田建設工業株式会社 正会員 ○伊藤 彬
 大阪市立大学大学院 正会員 北田 俊行
 大阪市立大学大学院 学生員 井口 貴

大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. はじめに

コンクリート充填鋼管柱は、鋼とコンクリートとの単純累加強度よりも大きな耐荷力および変形性能を発揮できることから、耐震上有利な構造である。そのため、最大弾性応答加速度が 2,000gal 規模の強地震動に対する既設の鋼製橋脚の耐震性を適切に確保するための耐震補強法として、橋脚内部にコンクリート追加・充填するコンクリート充填工法が挙げられる。また、適切な追加コンクリートの充填高さについても提案されている。しかし、これらに関する研究は、実験的に検討されているものが多いのが現状である。

本研究では、鋼およびコンクリート境界面を接触・剥離・摩擦を簡易に考慮するためのバネ要素を用いてモデル化する方法に着目して、コンクリート充填高さの異なるコンクリート部分充填鋼管柱を対象として、その弾塑性挙動を、数値解析により解明するための基礎資料を得ることを目的とする。なお、解析には、本研究室と JIP テクノサイエンス(株)とで共同開発しているプログラム EPASS/USSP を用いる。

2. 鋼およびコンクリート境界面のモデル化

鋼とコンクリートとの境界面の主な挙動は、鋼とコンクリートの接触および剥離、そして、鋼とコンクリートの付着により発生する摩擦に大別できる。本研究では、これら3種類の挙動を、鋼とコンクリートの節点間に3方向のバネ要素を用いてモデル化する。これらバネ要素の配置を図-1に示す。図-1に示すように、X方向が鋼とコンクリートとの接触・剥離を考慮する方向、Y方向およびZ方向が鋼・コンクリートとの付着による摩擦を考慮する方向である。

ここで、X方向のバネ定数 K_x は、X方向の鋼の節点変位を u_{sx} 、コンクリートの節点変位を u_{cx} とすると、 $u_{sx} \leq u_{cx}$ すなわち、鋼とコンクリートとが接触する場合は $K_x = 1.0 \times 10^{11}$ ($=\infty$)、また、 $u_{sx} > u_{cx}$ 、すなわち、鋼とコンクリートとが剥離する場合は $K_x = 0$ と仮定する。Y方向およびZ方向のバネ定数、 K_y および K_z の適切な設定については、後述の節3にて検討する。また、コンクリートとその上方のダイヤフラムの間にも K_x と同様に接触・剥離が考察できるバネ要素を配置する。

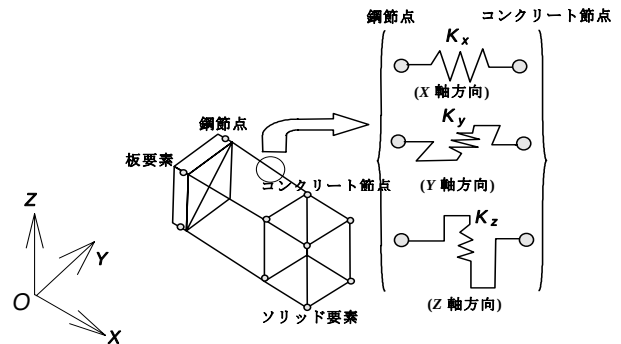


図-1 鋼およびコンクリート節点間に配置するバネ要素の概要

3. コンクリート部分充填鋼管の耐荷力解析

コンクリート充填高さの異なる2体のコンクリート部分充填鋼管柱（高さ1,600mm）を対象に、死荷重（鋼断面の降伏軸力の0.13%）を載荷した状態で、柱頂一方向に水平変位を載荷する耐荷力解析を行い、鋼とコンクリートとの境界面に設置したバネ要素の設定が、コンクリート部分充填柱の弾塑性挙動に及ぼす影響を考察する。なお、解析結果の検証には、過去に大阪市立大学・橋梁工学研究室で行われた実験結果¹⁾を用いる。

鋼を3角形平板要素、コンクリートを8節点6面体ソリッド要素でモデル化した解析モデルの概要を図-2に、各材料の機械的性質および応力-ひずみ関係をそれぞれ、表-1および図-3に示す。鋼の構成則にはvon Misesの降伏条件を、コンクリートにはDrucker-Pragerの破壊基準を用いる。また、応力コンター図によって内部コンクリートおよび外側の鋼板の塑性化の状況が観察できるように柱の1/2をモデル化している。コンクリート充填高さは、0, 370, および500mmであり、それぞれ解析モデル名をS, SC-25(ハイフン以降の数値は柱高さに対するコンクリート充填率)、およびSC-33とする。なお、初期不整には、残留応力を考慮している。まず、解析モデルSC-25を対象に、 $K_y=K_z$ を1.0, 10, 100, 500, および1000 N/mmの5種類に設定する。

図-4には、 $K_y=K_z=1.0$ および1,000 N/mmの場合における荷重-変位関係を示す。同図によると、両者に大きな違いは認められず、 K_y および K_z の設定が荷重-変位関係に及ぼす影響は小さいことがわかる。

キーワード：コンクリート部分充填鋼管柱、弾塑性有限変位解析、局部座屈

連絡先：〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科橋梁工学分野 TEL06-6605-2735

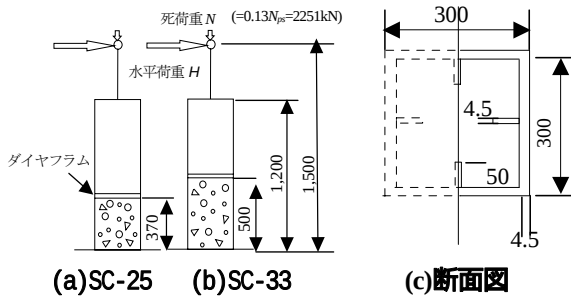


図-2 解析モデルの概要(単位:mm)

表-1 材料の機械的性質

モデル名	鋼			コンクリート			
	弾性係数 E_s (N/mm ²)	降伏応力 σ_{ys} (N/mm ²)	ポアソン比 μ_s	圧縮強度 f_c (N/mm ²)	弾性係数 E_c (N/mm ²)	ポアソン比 μ_c	引張強度 f_t (N/mm ²)
SC-25	214620	367.17	0.273	24.69	25800	0.174	1.88
SC-33	215600	368.77	0.278	24.69	25800	0.174	1.88

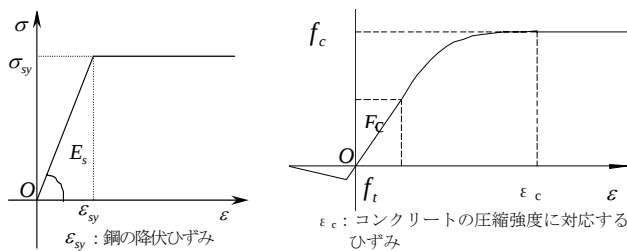
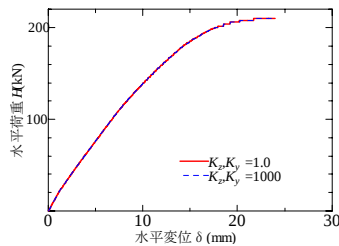


図-3 各材料の応力-ひずみ関係

図-4 水平荷重-水平変位関係 (K_y, K_z をパラメータ)

そこで、以降の解析には $K_y=K_z=1.0\text{N/mm}$ を用いる。ここで、解析結果の検証に用いた載荷実験の概要は次のとおりである。

- i) コンクリート部分充填鋼管柱(SC-25 および SC-33)を対象として、まず、最大荷重が得られるまで一方向に水平変位を漸増させる。次に、最大荷重が得られたときの水平変位を基準変位として、一定の繰返し変位を、実験供試体が崩壊に至るまで与える。また、コンクリート上端には、ダイヤフラムを設置する。
- ii) 実験の結果、供試体 SC-25 はダイヤフラム直上の鋼断面において、供試体 SC-33 は柱基部において局部座屈が発生している。

そのため、解析結果の検証には、実験結果のうち、繰返し回数1回目の荷重-変位関係を用いる。

図-5 には荷重-変位関係を、図-6 には各解析モデルの応

力コンター図を示す。図-5 に示すように、両解析モデルともに初期剛性は、実験結果とほぼ一致している。耐荷力は、解析が、実験結果よりも 10%大きい。図-6(a)によると、SC-25 ではダイヤフラム直上の鋼断面において、図-6(b)によると、SC-33 では柱基部付近の合成断面において面外方向の鋼板パネルの局部座屈が発生している。この座屈発生状況は、実験結果と類似している。

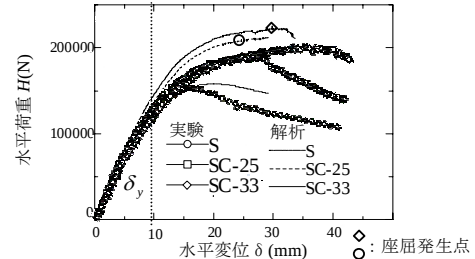


図-5 水平荷重-水平変位関係 (解析と実験結果の比較)

表-2 耐荷力解析における最大荷重、変位の比較

	実験			解析			実験/解析 荷重比
	初期剛性 (N/mm)	最大荷重 (N)	最大荷重時の変位 (mm)	初期剛性 (N/mm)	最大荷重 (N)	最大荷重時の変位 (mm)	
S	14600	146020	16	13049	152880	19	0.955
SC-25	15200	181300	27	15751	200900	26	0.902
SC-33	15200	193060	36	15759	210700	32	0.916

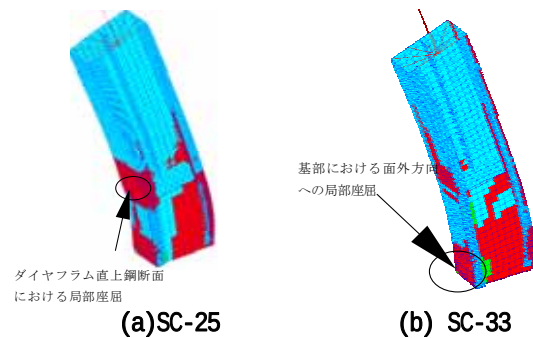


図-6 各解析モデルの応力図(変形倍率10倍)

4. 結論

- (1) 鋼とコンクリートの境界面に生じる付着による摩擦をバネ要素により簡易にモデル化する方法を提案した。その結果、本研究で用いた解析モデルでは、これらバネの設定が荷重-変位関係に及ぼす影響はあまりみられなかった。
- (2) コンクリート充填高さの異なる充填鋼管柱の耐荷力解析を行った。その結果、実験結果と同様に、コンクリートが柱高さの25%まで充填されている場合にはコンクリート充填部直上の鋼断面で、33%の場合には、柱基部の合成断面でそれぞれ鋼板パネルの局部座屈が発生した。

参考文献

- 1) 渡辺浩延：補剛断面を有する部分合成橋脚柱の耐震性に関する実験的研究，大阪市立大学大学院工学研究科土木工学専攻，修士論文，1998.3.