第Ⅰ部門　　円形断面からなるコンクリート充填鋼製橋脚の変形性能に関する研究

(株) ピーシーコンサルタント　正会員○古西　和夫　　関西大学工学部　岩腰　良太
関西大学大学院　学生員　萩原　敏子　　関西大学　正会員　堂垣　正博

1. まえがき

兵庫県南部地震において，鋼製橋脚の被害は，鉄筋コンクリート製橋脚に比べて比較的少なかった．この要因として，車両衝突による損傷防止のために橋脚基部に充填されたコンクリートの存在が考えられる．今日，コンクリートを充填した鋼製橋脚が注目されている．しかし，コンクリートを充填すれば，橋脚の自重が増し，基礎構造に負担がかかるため，経済性，施工性の低下が懸念されている．そこで，円形断面からなるコンクリート充填鋼製橋脚を対象に，地震時における橋脚の変形性能と充填コンクリートの効果を解析的に明らかにする．

2. コンクリート充填鋼製橋脚の解析モデル

2.1 解析対象

図-1 に示すようなコンクリート充填鋼製橋脚が，圧縮力と水平荷重を同時に受ける場合の変形挙動と強度特性を明らかにするため，汎用有限要素プログラム“MARC2003”による弾塑性有限変位解析を行う．解析モデルは断面中央での対称性から 1/2 モデルとする．鋼板とコンクリートの材料特性を**表-1** に示す．なお，残留応力と初期たわみは無視し，鋼とコンクリートは完全結合されているものとする．

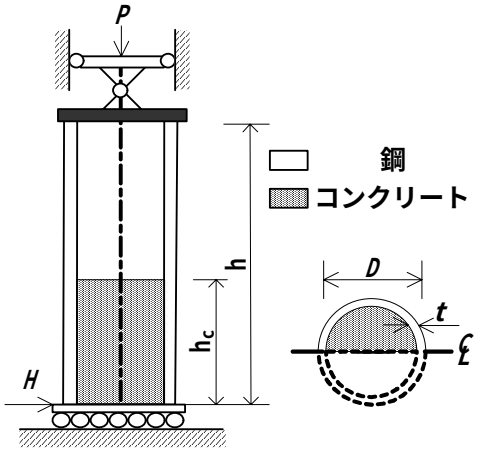

図-1　解析モデル

表-1　材料特性

鋼板（SM490Y材）		コンクリート	
降伏応力	365 MPa	設計基準強度	30 MPa
ヤング係数	206 GPa	ヤング係数	28 GPa
ポアソン比	0.3	ポアソン比	0.167

2.2 解析条件と解析パラメータ

作用荷重はつぎのとおりである．柱頂部に降伏荷重 P_y の 0.2 倍に相当する圧縮力 P を加える．さらに，柱基部に地震動に相当する水平荷重 H に等価な強制水平変位δを与える．δは，

$$\delta_y = \frac{H_y h^3}{3EI}$$

を基準とする．ここに，I は断面 2 次モーメント，H_y は降伏水平荷重，E は鋼のヤング率，h は橋脚の高さである．解析パラメータは**表-2** のとおりで，径厚比パラメータは R_t=0.1，0.15，0.2，0.25，0.3，コンクリートの充填率は 0%，10%，20%，30%，40%とした．

表-2　解析パラメータ

細長比パラメータ	径厚比パラメータ	充填率 (%)
0.35	0.1～0.3 (0.5間隔)	0～40

3. 数値解析結果とその考察

3.1 径厚比が鋼製橋脚の変形性能に及ぼす影響

無充填の鋼製橋脚に圧縮力と水平荷重が同時に作用するときの基部における荷重と変位の関係を**図-2** に示す．ここに，縦軸は降伏水平荷重で無次元化した作用荷重，横軸は降伏水平変位で無次元化した水平変位である．図から明らかなように，径厚比による最高荷重の差はほとんど見られない．最高荷重後の強度劣化は径厚比の増加とともに顕著に表れる．その理由として，いずれの R_t

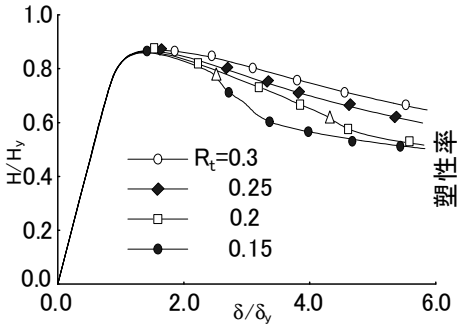

図-2　径厚比が鋼製橋脚の変形と強度に及ぼす影響

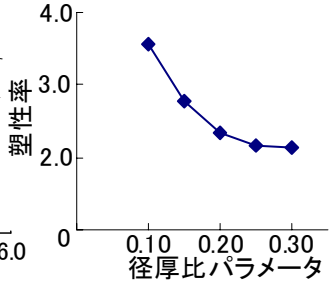

図-3　径厚比が塑性率に及ぼす影響

Kazuo FURUNISHI，Ryota IWAKOSHI，Toshiko HAGIWARA，and Masahiro DOGAKI

においても最高荷重付近で局部座屈が生じたことが考えられる．その形状は，R_t≧0.25 では**図-2** の△の点で座屈変形が円筒の内側に進展し始めたのに対し，R_t≦0.2 では外側にはらむように座屈した．**図-3** に示す塑性率と径厚比の関係から明らかなように，R_t≦0.2 の場合は径厚比とともに塑性率は上昇する．一方，R_t≧0.25 において，それはさほど変化しない．以上のことより，円筒シェルの局部座屈による変形が外側にはらみだす場合には高い塑性率が期待でき，局部座屈の変形が内側に進展する場合はあまり期待できない．

3.2 径厚比と局部座屈の関係

3.1 から明らかなように，局部座屈の変形の形式が強度と変形性能に大きな影響を与えることがわかった．**図-3** の径厚比と塑性率の関係からもわかるように，R_t=0.25 と 0.2 の間で塑性率が上昇し始めていることから，その間に局部座屈の変形形式が急変する境界のあることが容易に推測できる．そこで，径厚比と局部座屈の変形形式の関係を調べると，R_t=0.24 では局部座屈の変形が内側，R_t=0.23 では外にはらみだすことがわかった．このことから，R_t=0.24 と 0.23 が局部座屈の変形形式の境界である．

3.3 充填率が変形性能に及ぼす影響

3.1 の考察をふまえ，比較的強度劣化が顕著であった R_t=0.3 と 0.25 の鋼製橋脚を対象にコンクリートを充填した場合の変形性能を明らかにした．コンクリート充填鋼製橋脚の各充填率に対し，基部における荷重と変位の関係を示せば，**図-4** のようになる．**図-4** より明かなように，R_t=0.3，0.25 のいずれの場合も最高荷重は充填率とともに増加するが，最高荷重到達後の強度劣化で特徴的なのは充填率 40%の場合であった．この理由は，コンクリートの充填部分を増やすことで無充填部分の長さが短くなり，局部座屈発生位置での曲げモーメントが大きくなるため，その局部座屈の進展に大きく影響していると考えられる．局部座屈の変形形式については，R_t=0.3 の場合，局部座屈の発生位置は基部からコンクリート上面上の無充填部に移行したものの，内部に変形していく局部座屈の形式の改善はコンクリートを充填してもなされなかった．R_t=0.25 の場合は，充填率 30%の場合のみ局部座屈の変形が外にはらむ形式となった．他の充填率の場合は，無充填の場合と同じだった．以上のことは，**図-5** と**表-3** の充填率と塑性率の関係からも明らかなように，R_t=0.3 の塑性率は 30%で最高となっているが，0%のそれとほとんど変わっていない．R_t=0.25 では局部座屈が外側にはらむように変形した充填率 30%の塑性率は他に比べて高い値を示している．しかし，**図-5** から，R_t=0.25 で充填率 30%の塑性率は R_t=0.23 で無充填の塑性率とほぼ同じとなっていることから，効果的ではなかった．

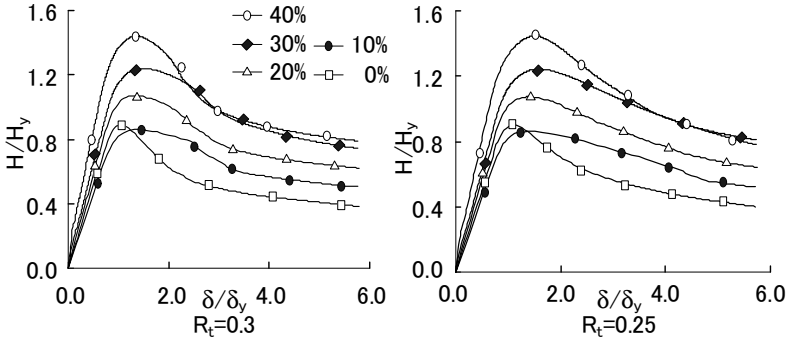

図-4　充填率がコンクリート充填鋼製橋脚の変形性能に及ぼす影響

表-3　充填率と塑性率の関係

充填率	塑性率	
	Rt=0.3	Rt=0.25
0%	2.13	2.17
20%	1.93	1.94
30%	2.16	2.30
40%	1.81	1.99

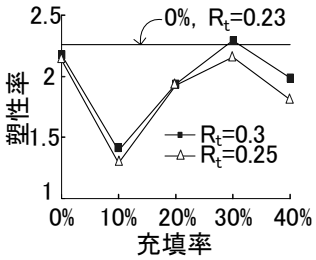

図-5　充填率と塑性率の関係

4．まとめ

本研究で得られた結果をまとめると，以下のようになる．

1) 無充填の円形断面からなる鋼製橋脚において，R_t=0.24 と 0.23 の間に局部座屈の形式が異なる．R_t≧0.24 の径厚比の場合の局部座屈の変形は内側に進展し，それが原因で，強度と変形性能が低下した．
2) 局部座屈の変形が内側に進展する，すなわち薄肉の橋脚にコンクリートを充填した場合，充填率の上昇とともに最高荷重は上昇するものの，最高荷重後の強度の向上はあまり期待できない．
3) 充填率が上がるとコンクリート上部の鋼製橋脚にかかる負担が大きくなり，変形性能を低下させる結果となった．

参考文献　1) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅴ耐震設計編，丸善，2002-3.