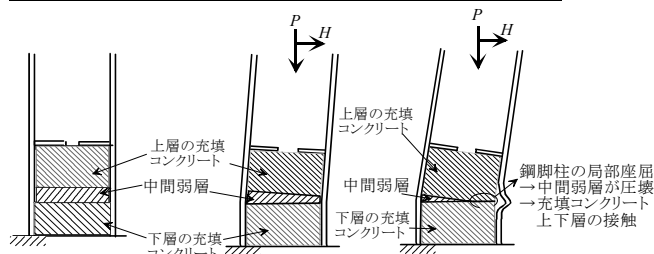


円形断面鋼製橋脚柱のコンクリート充填による 耐震補強における水平耐力上昇抑制法の検討

名古屋工業大学 学生会員 ○古田 高也 フェロー 後藤 芳顕 正会員 海老澤 健正 正会員 野中 哲也

1. はじめに： 無充填鋼製橋脚の耐震性能向上策としては、コンクリートを充填する方法がよく用いられる。しかし、コンクリート充填橋脚(CFT 橋脚)では、変形性能が向上する一方、水平耐力も上昇する。このため、橋脚基礎部に作用する地震力も増大する。したがって、橋脚基礎部を補強しないとアンカー部を含めた基礎部の負担も増大し、橋脚より先に基礎部が損傷することという望ましくない損傷形態が生じることも考えられる。しかし、一般に基礎部の補強は難しいので、コンクリート充填鋼製橋脚の耐力をなるべく上昇させない方法が求められている。ここでは、適切な低強度・低剛性の中間弱層を充填コンクリート内に設けることでコンクリートを充填した鋼製橋脚の耐力上昇を抑制しつつ変形性能を向上する方法について検討した。本論文では、まず、1/8 スケールの円形断面鋼脚柱模型を対象に充填コンクリートに設ける最適な中間弱層として層厚と挿入位置を精緻な FE 解析で検討した。つぎに、最適な中間弱層を設置した CFT 脚柱模型に水平 1 方向漸増繰り返し載荷実験を行い、中間弱層を設置しない CFT 脚柱供試体、中空円形断面鋼脚柱との力学挙動を比較し、中間弱層の効果と力学特性を詳細に調べた。

2. 中間弱層を設けたコンクリート充填鋼脚柱：図 1 (a)



(a) 概略構造 (b) 局部座屈変形前 (c) 局部座屈変形後
図1 中間弱層を持つコンクリート充填鋼脚柱

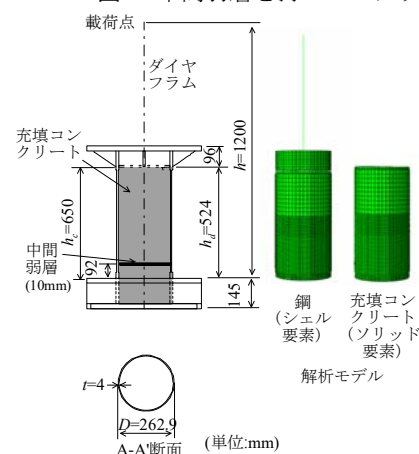


図2 実験供試体

表1 供試体諸元

鋼管外径(mm)	262.9
板厚(mm)	4.0
水平降伏変位 δ_0 (mm)	4.39
水平降伏荷重 H_0 (kN)	58.4
径厚比パラメータ R_t	0.09
軸力比 P/P_y	0.15

表3 充填コンクリートの圧縮強度

供試体	CFT	中間弱層1	中間弱層2	中間弱層3
下層	27.67	29.78	28.86	28.37
上層		26.22	26.47	28.49

(単位：MPa)

のように中空鋼脚柱内部に充填するコンクリートを上下 2 層に分離し、適切な層厚と剛性を持つ中間弱層を配置する。これにより、CFT 脚柱の最大水平耐力の上昇を抑制するとともに、鋼脚柱の局部座屈変形の進展を防止し、脚柱の変形性能を向上させる。この中間弱層は、上層充填コンクリートの自重を支え、上下の充填コンクリート層間に中間弱層として必要な間隔を保持できる強度と剛性を持つことが前提である。中間弱層を挿入した CFT 脚柱の耐荷メカニズムとしては次のように説明される。鋼脚柱に局部座屈変形が生じる以前は、図 1 (b) のように上下層が接触しない。その結果、CFT 脚柱耐力の上昇が抑制される。最大耐力到達後には鋼脚柱に局部座屈変形が生じ、図 1 (c) のように中間弱層が圧壊する。その結果、充填コンクリートの上下二層が接触し、CFT 脚柱には鋼とコンクリート断面の合成効果が生じる。これにより、局部座屈変形の進展が抑制されるので、復元力低下も抑制され、変形性能が向上する。

3. 供試体と実験方法： 通常の CFT 脚柱供試体は実大の約 1/8 スケール円形断面鋼脚柱のダイヤフラム位置までコンクリートを打設することで製作した。中間弱層を設けた CFT 脚柱供試体では中間弱層に発泡スチレンボードを用いた。理由として上部に打設された充填コンクリートの自重に対してスチレンボードはほとんど変形せずに支持できるが、地震時に作用する圧縮力に対して圧壊するまでの強度・剛性が非常に小さいからである。中間弱層としてのスチレンボードの層厚と挿入位置については、事前解析で有効な値を決定した。すなわち、スチレンボードによる中間弱層の層厚を 3 mm と定め、座屈高さ(高さ 92mm)に中間弱層を設置した場合(以下「中間弱層 1」)と、座屈高さより高い位置(高さ 116.7mm)に中間弱層を挿入した場合(以下「中間弱層 2」)に分けて実験を行った。さらに、層厚を厚くした場合として、5mm のスチレンボード 2 枚を接着して中間弱層の層厚を 10mm とした実験(以下「中間弱層 3」)も行っ

表2 三曲面モデルのパラメータ

部材	鋼種	板厚(mm)	E (GPa)	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	f_b	β	ρ	κ	ξ
ダイヤフラム	SM400	9	221	337	556	0.65	100	2.0	3	0.78
パイプ	STK400	4	221	400	502	0.65	150	2.0	2	0.91

表4 損傷塑性モデルのパラメータ

E (GPa)	ν_c	f_c (MPa)	σ_{t0} (MPa)	K_c	$\frac{\sigma_{b0}}{\sigma_{c0}}$	e	Ψ
23.29	0.16	27.96	2.16	0.70	1.1	0.2	10°

キーワード 耐震補強, コンクリート充填橋脚, 中間弱層

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市中昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL&FAX 052-735-5021

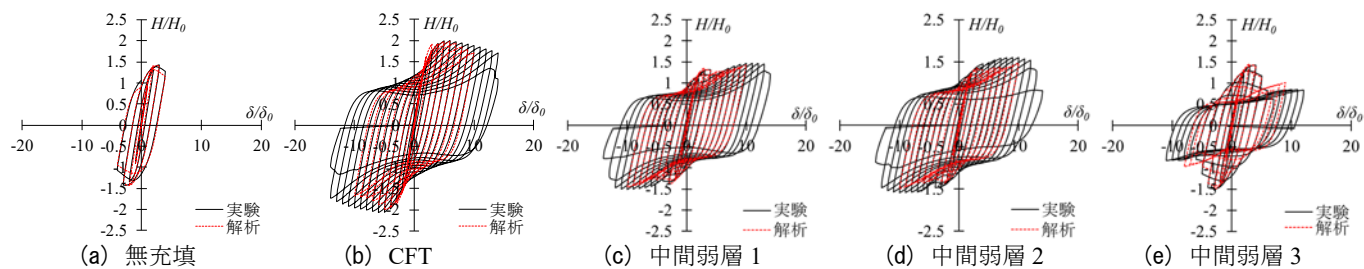


図3 水平荷重—水平変位関係

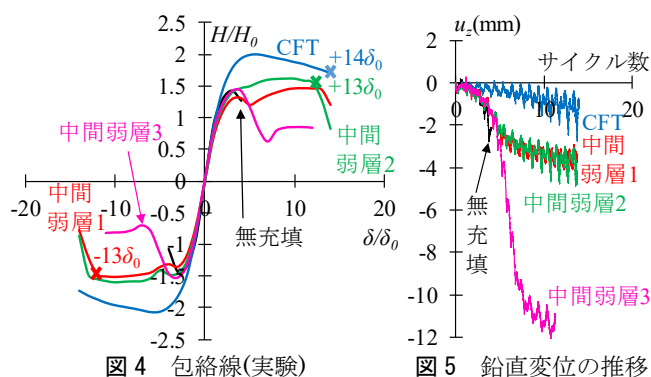


図4 包絡線(実験)

図5 鉛直変位の推移

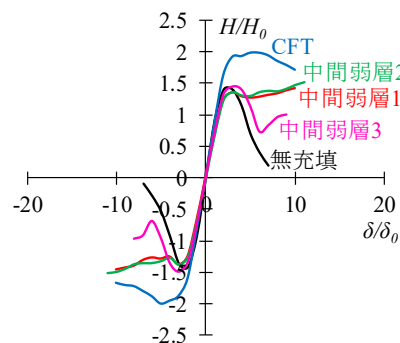


図6 包絡線(解析)

た. 実験では, 脚柱頂部の水平変位の制御による漸増型の両振り 1 回繰返しを鋼管の降伏水平変位 δ_0 をもとに載荷した. 用いた供試体を表 1, 図 2 に示す.

4. 解析モデル: 数値解析には非線形汎用解析ソフト ABAQUS を用いる. 鋼材の材料構成則には三曲面モデルを用い, 単調引張に関するパラメータは材料試験により同定し, 繰返しに関するものは既往研究を参考に表 2 の値を用いる. 充填コンクリートには損傷塑性モデルを適用し, そのパラメータには本実験の圧縮強度(表 3)との差異が大きい既往の実験で同定した表 4 の値を用いる. 鋼パネルとコンクリートの境界面にはコンタクトペアまたは接触ばね要素, ダイアフラムとコンクリートの境界面には接触ばね要素, コンクリートの仮想ひび割れ面には接触ばね要素およびせん断ばね要素を用いて表現した^{1),2)}. また中間弱層部には接触ばね要素およびせん断ばね要素を用いる.

5. 実験結果: 図 3 に無充填脚柱, CFT 脚柱, 中間弱層 1~3 のそれぞれについて実験で得られた水平荷重—水平変位の履歴曲線, 図 4 に履歴曲線の包絡線, 図 5 に鉛直変位—サイクル関係を示す. 図 3 より, 無充填脚柱でのピーク点($-3.8\delta_0$, $-1.47H_0$)に比べて CFT 脚柱でのピーク点は($-6.0\delta_0$, $-2.07H_0$)であり, 変形能が大幅に向上するが, 耐力も約 1.4 倍に増加した. 一方, 「中間弱層 1」の供試体では, $-3.0\delta_0$ で最大荷重 $-1.34H_0$ に到達後に図 4

の包絡線に示すように $\pm 5\delta_0 (=5$ サイクル目) で荷重が再び上昇し, 無充填脚柱と比べて変形能が改善されている. このとき, 最大耐力の上昇は 12% 程度にとどまるとともに, 荷重の低下も最大荷重の 97% までに抑えることが出来ており, 耐力上昇抑制, 変形性能向上の目標がある程度達成された. 図 4 より「中間弱層 2」の場合は, さらに荷重の低下が小さいことが分かる. これより, 中間弱層挿入高さを座屈高さより高くした場合でも, 中間弱層の効果は示せた. 一方で, 層厚を厚くした「中間弱層 3」の場合, 耐力が再上昇するまでに大きく耐力が低下した. よって, 層厚による影響が大きいことが分かる. 図 5 より, 中間弱層を挿入した場合, 発泡スチレンボードの厚さ 3mm 近傍に到達すると沈下量の増加は減少した. これは水平荷重の再上昇のサイクル(5 サイクル目)とほぼ一致することより, 中間弱層圧壊後に上下層のコンクリートが接触したためだと考えられる. 「中間弱層 3」の場合も同様である. 図 4 の×記号はき裂の発生時を示している(CFT 脚柱は 14 サイクル目を 2 回行い, 2 回目の $+14\delta_0$ でき裂発生). 「中間弱層 1」, 「中間弱層 2」は CFT 脚柱に比べて座屈が大きく出たことにより, CFT 脚柱に比べてやや早くき裂が生じたが, 大きな差異はない.

6. FE モデルによる実験の再現解析: 4. の FE モデルを用いた各実験の再現解析結果として, 図 3 に各実験供試体の水平荷重—水平変位関係の履歴曲線, その包絡線を図 6 に示す. 無充填脚柱, CFT 脚柱, 中間弱層を挿入した脚柱それぞれについてほぼ実験結果は数値解析により再現できていることがわかる.

7. まとめ: 鋼脚柱の CFT 化は変形能を向上させるが同時に最大耐力も上昇するため, 無充填脚柱を前提に設計された基礎構造の耐力を上回る可能性がある. そこで, 充填コンクリートを上下 2 層に分離してその間に低強度・低剛性の中間弱層を導入する耐震補強法を提案した. この耐震補強法によれば CFT 化した円形断面脚柱の耐力上昇がほとんどなく変形能のみ向上させることが可能であることがわかった.

参考文献: 1) 後藤ら: 地震動下のコンクリート充填円形断面鋼製橋脚における局部座屈変形の進展抑制機構と耐震性向上, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, No.1, pp.101-120, 2013. 2) 後藤ら: 充填コンクリートとの相互作用を考慮した円形断面鋼製橋脚の繰返し挙動の FEM 解析, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.2, pp.487-504, 2009.