

コンクリート部分充填矩形断面鋼製橋脚における中間ダイヤフラムの省略と耐震性能

株式会社横河ブリッジ 正会員 ○金井 宏英

名古屋工業大学 フェロー会員 後藤 芳顯 名古屋工業大学 正会員 海老澤 健正

1. まえがき：中空鋼管の内部にコンクリートを充填したコンクリート充填鋼製橋脚(CFT 橋脚)はダイヤフラムと鋼管に拘束された充填コンクリートの圧縮強度向上と鋼管の局部座屈防止効果などにより、高い強度と変形能を有する。一般に、矩形断面の CFT 橋脚のダイヤフラム間隔 a は、無充填橋脚と同様に、 $a = 0.5b \sim 1.5b$ (b ：パネル幅)とされることが多い。しかしながら、CFT 橋脚では充填コンクリートに断面補剛効果があるため、充填部のダイヤフラム間隔をより広くできる可能性がある。ここでは、部分充填の矩形断面橋脚を対象に充填コンクリート上部表面のダイヤフラム以外の中間ダイヤフラムの省略が CFT 橋脚の耐震性能に与える影響について2方向繰り返し載荷実験により検討する。さらに、このような構造への著者らが開発した高精度 FEM モデルによる解析の適用性についても検証する。

2. 供試体と繰り返し載荷実験：従来の CFT 橋脚に対応する基準 CFT 供試体として、上ベースプレートから3枚のダイヤフラムを等間隔 $a = 1.08b$ で配置した矩形断面鋼製橋脚の基部から2枚目のダイヤフラムまでコンクリートを充填した図1の構造を用いた。中間ダイヤフラムを省略した簡易 CFT 供試体では基準 CFT 供試体の基部から1枚目のダイヤフラムを省略した。供試体の鋼脚部分の諸元を表1に示す。載荷実験では全ての供試体に対して図2の螺旋載荷パターンを用いた。

3. CFT 柱の FEM モデル：CFT 柱の高精度有限要素モデル^{1),2)}は非線形コード ABAQUS での解析を前提としている。鋼管は厚肉シェル要素 S4R で表し、構成則には三曲面モデルを用いる。鋼材の一軸引張試験に基づく真応力-対数ひずみ関係を図3に、繰り返しの材料パラメータ値を表2に示す。充填コンクリートはソリッド要素 C3D8R で表し、構成則には損傷塑性モデルを用いる。相当応力-相当塑性ひずみ関係については、圧縮側は一軸圧縮試験に基づき、引張強度は割裂試験で同定した。引張軟化の負勾配については収束解が得られる範囲で最も大きな勾配を設定した。その他のパラメータは ABAQUS の推奨値を使用するが、膨張角 ψ については載荷実験によるキャリブレーションで決定した。材料パラメータを表3、図4にまとめる。さらに、充填コンクリートに発生する水平ひび割れの開閉挙動を表すために離散ひび割れモデルを用いる。離散ひび割れの必要本数3本と挿入箇所は文献2)と同様の手法で図1のように決定した。鋼管と充填コンクリート界面は接

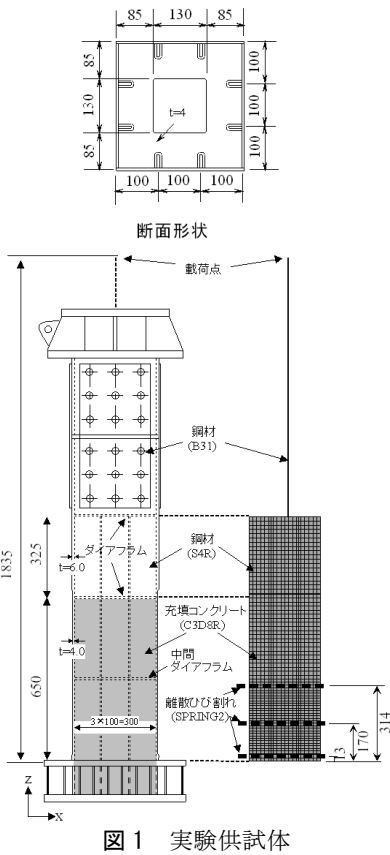


図2 載荷パターン

図1 実験供試体

表1 供試体諸元

供試体	h (mm)	B (mm)	t (mm)	R_R	γ/γ^*	P/P_y	H_0 (kN)	δ_0 (mm)
基準 CFT	1835	296.87	4.46	0.45	0.82	0.15	76.47	8.66
簡易 CFT	1835	296.46	4.41	0.45	0.23 ^(*)	0.15	75.54	8.64

(*) 縦りづ寸法は基準 CFT 供試体と同様である。

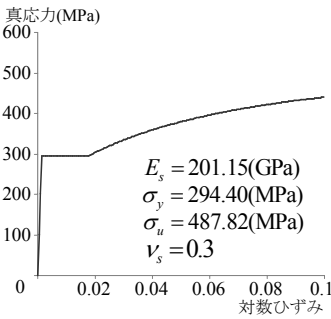


図3 鋼材の真応力-対数ひずみ関係

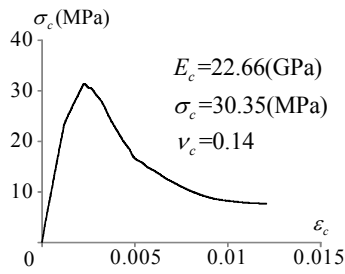


図4 コンクリートの一軸圧縮応力-ひずみ関係

表2 三曲面モデルパラメータ

f_b/σ_y	β	κ	ρ
0.650	100	3	2

表3 損傷塑性モデルパラメータ

ψ	e	σ_0/σ_0	K_c
30°	0.1	1.16	0.67

触・離間挙動考慮するためにコンタクトペアを用いた。文献2)の検討結果から接触時界面の摩擦の影響は小さいのでこれを無視する。いままでにFEMモデルは中間ダイヤフラムを設置したCFT柱への適用性は確認されているので、ここでは、中間ダイヤフラムを無視した構造への適用性を検討した。

4. 中間ダイヤフラムの省略の影響

(a) CFT 橋脚の履歴挙動: 基準 CFT 供試体と中間ダイヤフラムを省略した簡易 CFT 供試体の繰り返し载荷実験により得られた水平方向成分の履歴挙動を図5に示す。また、対応する FEM 解析結果を図6に示す。図5の実験結果より中間ダイヤフラムの省略はCFT橋脚の履歴挙動や変形挙動にほとんど影響を与えないことがわかる。したがって、中間ダイヤフラムを省略したCFT橋脚を用いることによる鋼製橋脚の経済性向上は十分可能であると考えられる。図6より高精度 FEM 解析は実験結果を良く再現しており、ダイヤフラムを省略した構造への適用性も確認できる。

(b) 充填コンクリート上面のダイヤフラムへの作用力: CFT 橋脚のコンクリート充填部に作用する軸力のかなりの部分はダイヤフラムからの支圧により充填コンクリートへと伝達される。従って、中間ダイヤフラムを省略した場合にはコンクリート上面のダイヤフラムにより大きい支圧力が作用すると考えられ、ダイヤフラムの設計に反映する必要性が生じる可能性も考えられる。そこで実験供試体を対象に支圧応力の増加の程度を検討する。実験での支圧応力の計測は困難であるので、螺旋载荷振幅(動径) $8\delta_0$ においてダイヤフラムの有無によるコンクリート上面ダイヤフラムからの支圧応力分布を高精度 FEM 解析により計算し図7に示す。この図より中間ダイヤ

フラムを省略すると、上面ダイヤフラムに作用する支圧応力の最大値がダイヤフラムのパネル接合部近傍で約4割増加する。さらに、中間ダイヤフラムの有無に対応する上面ダイヤフラムの相当応力分布を図8に示す。これによると、ダイヤフラムの作用応力の増加はほとんど見られず、中間ダイヤフラムを省略した場合も上面ダイヤフラムを補強する必要がほとんど無いことがわかる。支圧応力の増加に較べダイヤフラム応力の増加が小さいのは支圧応力の増加がダイヤフラムのパネル接合部近傍に限られているからと考えられる。なお、実際の圧縮軸力は上面ダイヤフラムのほか充填部の界面摩擦によっても充填コンクリートに伝達されるので、ダイヤフラムの支圧応力やダイヤフラムの相当応力は図7、図8の値より小さくなると考えられる。

5. まとめ: 部分充填矩形断面鋼製橋脚では中間ダイヤフラムを省略しても耐震性能低下はほとんど無く、 $7\delta_0$ まで低サイクル疲労によるき裂発生も観察されなかった。今後、鋼製橋脚のより広いパラメータ範囲の検討を行い、中間ダイヤフラムの一般的な省略可能性を検討したい。

謝辞: 本研究の一部は JSPS 科研費 24656279(研究代表者: 後藤芳顯)による助成を受けたものである。

参考文献: 1)後藤芳顯ら, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.2, pp.487-504, 2009. 2) 後藤芳顯ら, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.4, pp.816-835, 2010.

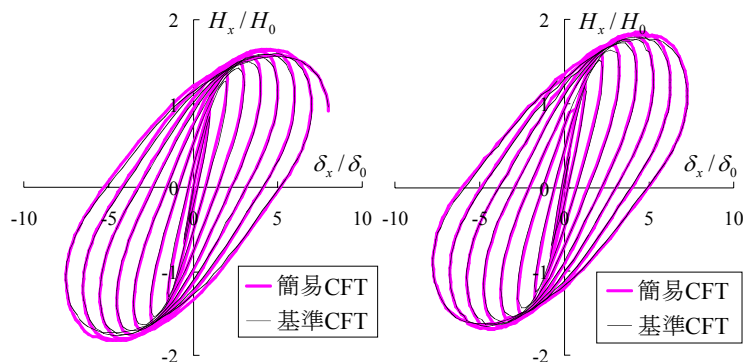


図5 CFT 橋脚の水平方向履歴挙動(実験)

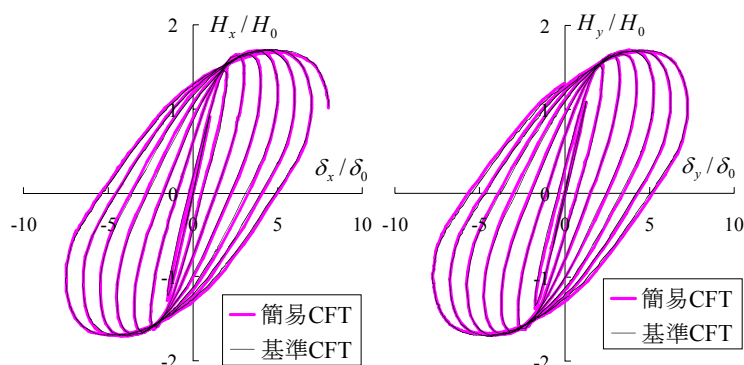
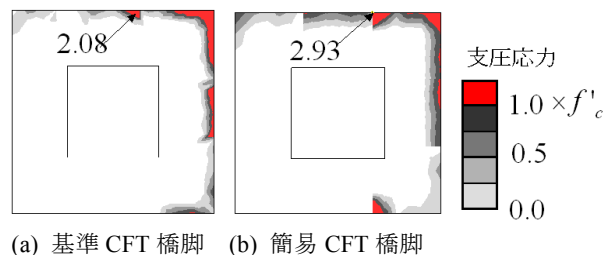
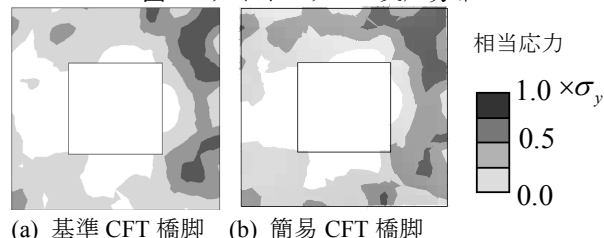


図6 CFT 橋脚の水平方向履歴挙動(解析)



(a) 基準 CFT 橋脚 (b) 簡易 CFT 橋脚

図7 ダイヤフラムの支圧分布



(a) 基準 CFT 橋脚 (b) 簡易 CFT 橋脚

図8 ダイヤフラムの相当応力分布