

CFT部材の曲げ耐力・変形性能の評価と補修技術の開発

構造物技術研究部 鋼・複合構造研究室
副主任研究員 齊藤 雅充

1. はじめに

コンクリート充填鋼管 (CFT) 部材は、部材寸法や施工上の制約下でも適用可能な一方、耐震設計の際の非線形モデル化手法の適用範囲や、損傷した場合の補修方法が課題となっている。そこで、載荷試験より、適用範囲拡大が可能となる耐力算定法などのモデル化手法を提案した。損傷した場合の補修方法としては、鋼管の局部座屈を抑える手法を提案し、載荷試験により補修効果を確認した。本発表では、これらのモデル化手法、補修方法の検討について紹介する。

2. CFT 部材の曲げ耐力・変形性能の算定方法の見直し

2.1 現行のモデル化における課題と検討の目的

CFT 部材を耐震設計する際には、部材を図 1 に示す骨格曲線を用いた非線形モデルを用いる。このうち M 点は最大耐力点に相当し、「耐震標準¹⁾」に示す方法により算定するが、この算定方法の適用範囲が表 1 の中列に示すように限定されているため、CFT 部材が不経済な断面となったり、CFT 部材の適用自体が難しくなるなどの課題があった²⁾。そこで、表 1 の右列に示すような、通常の構造物への適用時に問題とならないような適用範囲に拡大し、その中で耐力・変形性能を精度よく算定できる方法を提案することを目的に、新たな算定法を検討することとした。

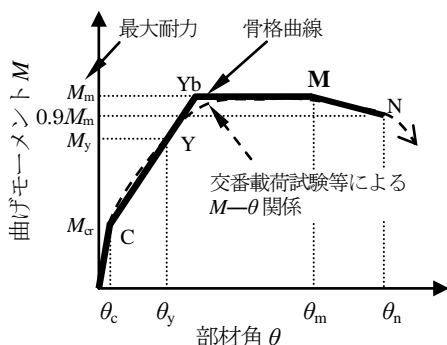


図 1 CFT 部材の骨格曲線

表 1 非線形モデル化手法の適用範囲

項目	現行の適用範囲	改良案の適用範囲
径厚比パラメータ R_t (径厚比 D/t)	$0.06 \leq R_t \leq 0.17$ ($40 \leq D/t \leq 120$)	<u>$0.04 \leq R_t \leq 0.17$</u> (<u>$30 \leq D/t \leq 120$</u>)
細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ (せん断スパン比 L_d/D)	$0.20 \leq \bar{\lambda} \leq 0.40$ ($3.0 \leq L_d/D \leq 6.0$)	<u>$0.12 \leq \bar{\lambda} \leq 0.60$</u> (<u>$1.7 \leq L_d/D \leq 7.0$</u>)
軸力比 N'/N'_y	$0 \leq N'/N'_y \leq 0.30$	<u>$N'/N'_y \leq 0.60$</u>
材料強度	鋼材 f_{sy}	570N/mm ² 級以下
	コンクリート f'_c	<u>$f'_c \leq 60\text{N/mm}^2$</u>

注) 下線部が適用範囲の拡大領域を表す。

2.2 適用範囲の拡大領域における載荷試験

適用範囲の拡大領域における耐力・変形性能を確認するため、CFT 部材の載荷試験を行った。図 2 に試験の概要図を示す。載荷は一定の軸力下で水平変位を正負交番させながら漸増させる方法とした。試験条件や結果の詳細については文献 3), 4) に示す。

2.3 最大耐力・変形性能算定法の検討

現行の算定法 (図 3) における課題を踏まえ、これを改良した新たな算定法 (図 4) を考案した²⁾。以下に変更点の概要を示す。

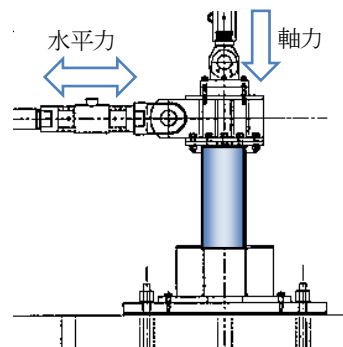


図 2 載荷試験概要図

①端部曲げモーメントの算定

現行法では、図3(b)に示すように、部材端部から等価塑性ヒンジ長 L_p 離れた位置での曲げモーメント M_u を算定し、曲げモーメントの線形分布を仮定した「モーメントシフト」を用いて端部モーメント M_m を算定していた。しかし、この方法では、 M_m がせん断スパン比の影響を過度に受けるため、せん断スパン比が小さい側の拡大領域で過大評価となっていた。このため、改良案では、端部曲げモーメント M_m を直接算定する方法とした。

②充填コンクリートの応力-ひずみ関係

現行法では、曲げモーメント M_u 算定の際、鋼管による拘束効果をコンクリートの圧縮縁ひずみの増加で考慮するが、強度の増加は考慮していなかった。このため、適用範囲の全体において耐力を過小評価する傾向にあった。このため、改良案では、曲げモーメント M_m 算定の際、鋼管による拘束力に応じて、コンクリートの強度および圧縮縁ひずみが増加する算定方法⁵⁾とした。

③部材角 θ_m の算定方法

現行法では、圧縮縁ひずみを限界値とした曲げ耐力 M_u 時の曲率 ϕ_m を算定し、これより塑性ヒンジ回転角 θ_{pm} を算定していた。この方法では、曲げ耐力と変形性能の両者の算定精度を同時に高めることは難しかった。このため、改良案では、塑性ヒンジ回転角 θ_{pm} を、耐力算定とは別に定めた回帰式により直接算定する方法とした。

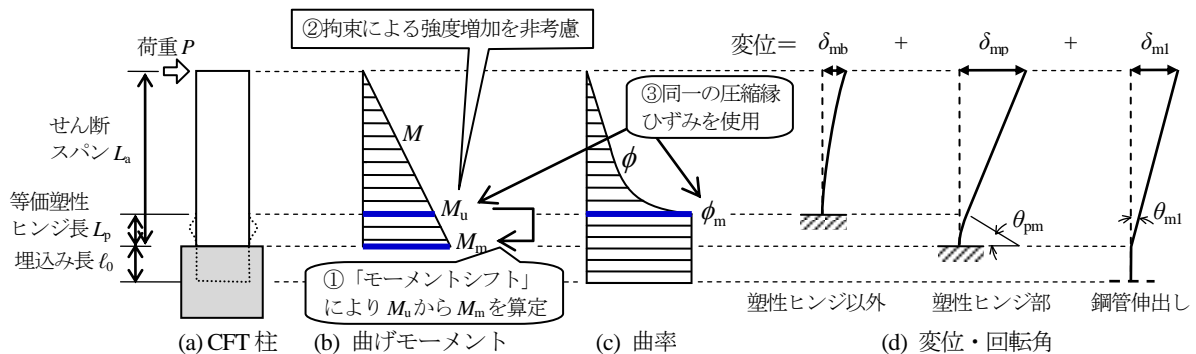


図3 現行算定法¹⁾における曲げ耐力、変形性能の求め方

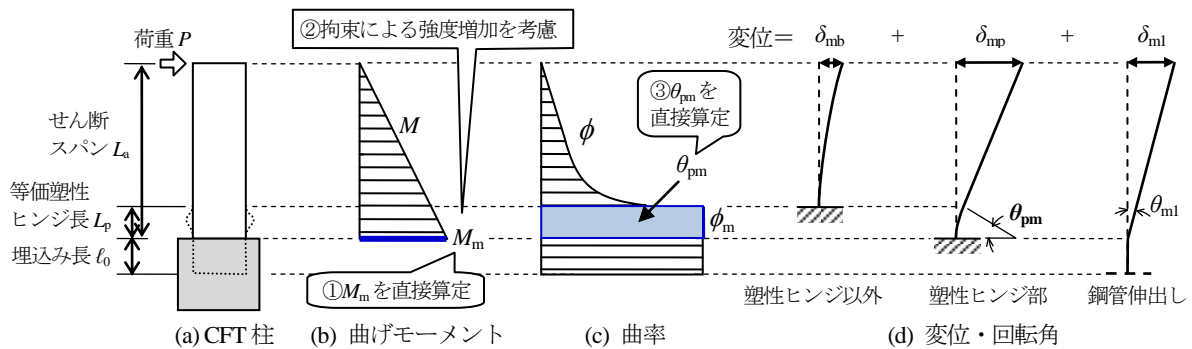


図4 改良案²⁾における曲げ耐力、変形性能の求め方

2.4 計算値と実験値の比較

考案した算定法による曲げモーメント M_m および部材角 θ_m の計算値と実験値との比較を、過去の試験結果⁶⁾も含め、図5に示す。改良案による計算値は、適用拡大範囲のみならず、現行の適用範囲内においても、現行法と比べて算定精度が向上していることがわかった。

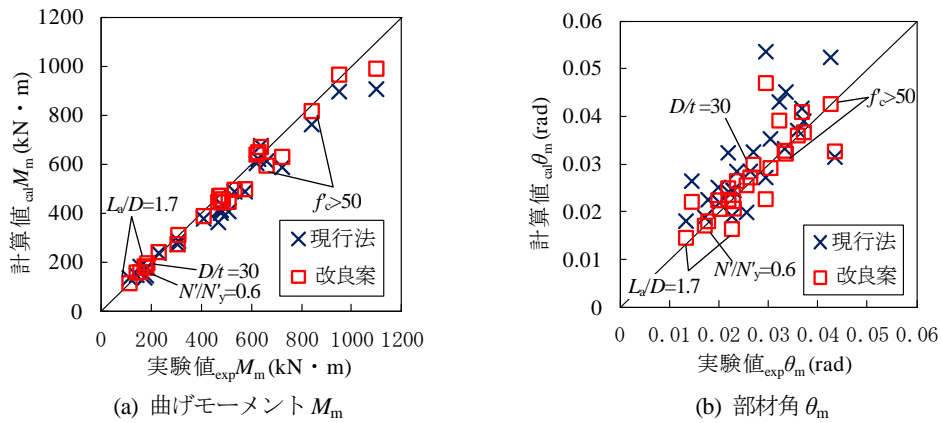


図5 計算値と実験値の比較

3. 地震時に損傷した CFT 部材の補修技術の開発

3.1 検討の目的

地震時における復旧性の照査では、部材の補修方法を考慮して損傷レベルを設定している¹⁾。一方、CFT 部材の補修方法の検証例や適用例はみられない。そこで、地震により損傷した高架橋の CFT 柱を想定した補修方法を提案し、その効果を載荷試験により確認することとした。

3.2 提案する補修方法

CFT 部材では、図 1 の M 点付近で鋼管に局部座屈が発生、進展すると、耐力が低下する。このため、局部座屈の進展抑止と耐力の回復が重要である。そこで、図 6(a)のように、損傷箇所にリブとベースプレートを設定した鋼管（外側鋼管）を巻き立て、局部座屈進展を抑止し、リブによる支圧で曲げ抵抗を付加する「リブつき二重鋼管方式（標準型）」を提案した。

また、繰返し大変形を受けると、鋼管の局部座屈箇所にき裂が発生し、急激な耐力の低下を招く。これを防止するため、標準型の構造に上側プレートを取り付け、上側プレートとベースプレートを部材に固定・一体化させた「一体型」を提案した。図 6(b)に補修状況を示す。

標準型、一体型の 2 つの補修方法は、CFT 部材の局部座屈の大きさを目安に使い分ける。なお、いずれにおいても外側鋼管と CFT 部材の隙間にはモルタルを充填する。

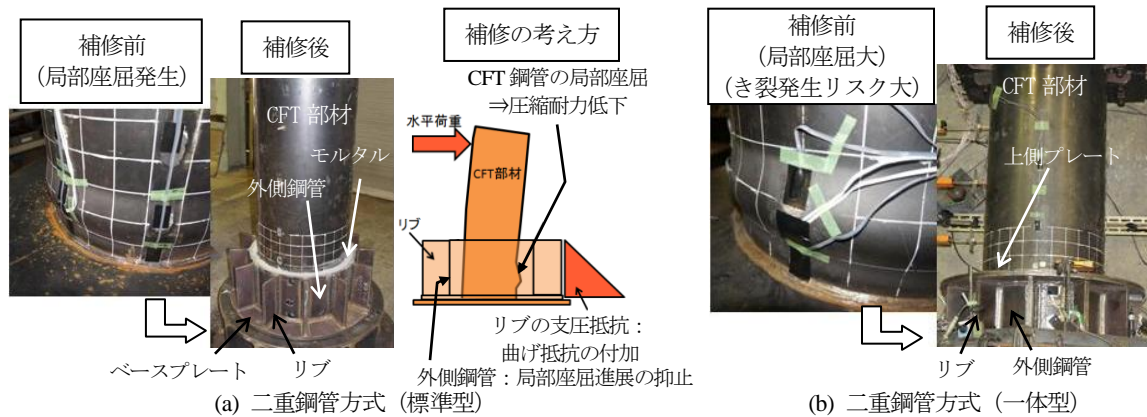


図 6 CFT 部材の補修方法

3.3 載荷試験による補修効果の確認

あらかじめ CFT 部材に初期載荷を行って損傷を付与し、耐力の低下を確認した。この試験体に補修を行った後、補修効果を確認するために、再度、載荷試験を実施した。いずれの載荷においても、2.2 と同様、軸力を一定として、水平変位を漸増させる交番載荷試験を行った⁷⁾。

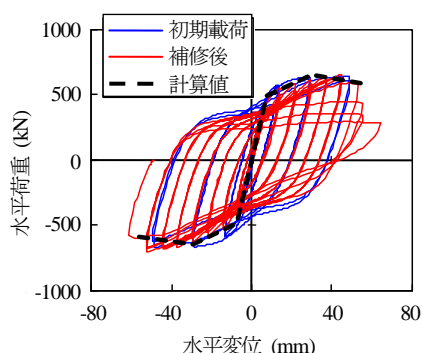
(1) 標準型

図 7(a)に、荷重・変位関係を示す。標準型で補修した後は、初期荷重時と同様の履歴曲線を示した。その後、計算値の N 点付近で CFT 部材の鋼管にき裂が生じて水平荷重が低下した。これより、耐力・変形性能が損傷前や設計と同程度まで回復したといえる。

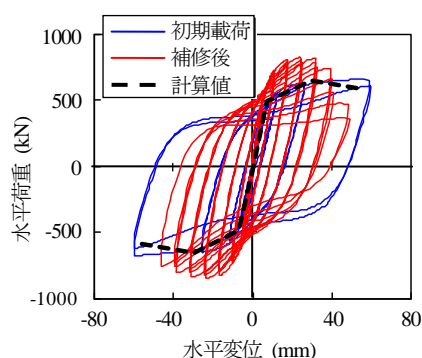
(2) 一体型

一体型で補修した試験では、図 7(b)に示すように最大耐力が初期荷重時を上回ったが、変形性能は初期荷重時を下回った。これは、補修部位より上部で新たに損傷したことによる。一方、初期荷重で生じた局部座屈は、補修後の荷重終了時でも進展がみられなかった。これより、外側鋼管と CFT 部材の一体化により、局部座屈の進展とそれに伴う早期のき裂発生を防止できたと考えられる。

以上より、耐震標準において設定している損傷レベル³⁾の領域において、提案した方法により耐力・変形性能を回復可能であることから、現状の損傷レベル設定の考え方が妥当であることがわかった。



(a) 標準型で補修した場合



(b) 一体型で補修した場合

図 7 補修前後の荷重-変位関係

4. おわりに

コンクリート充填鋼管 (CFT) 部材の耐震設計において課題となっていた部材のモデル化および損傷時の補修方法に関して検討を行った。CFT 部材のモデル化においては、最大耐力および変形性能の算定法の改良案を提案し、より拡大した範囲に適用可能であることを明らかにした。この改良案は、本年発刊予定の「鉄道構造物等設計標準・同解説 (鋼とコンクリートの複合構造物)」において記載される。また、地震時に損傷した CFT 部材を想定した補修方法を提案し、局部座屈が生じた CFT 部材の耐力・変形性能を回復することが可能であり、損傷レベルの考え方が妥当であることを確認した。

なお、本研究は国土交通省委託の「鉄道技術基準整備のための調査研究」の一部を含んでいる。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所 編：鉄道構造物等設計標準・同解説 (耐震標準)，丸善，2012.
- 2) 斉藤雅充，池田学，萬代能久：円形断面コンクリート充填鋼管部材の最大耐力時における変形性能算定法の検討，複合・合成構造の活用に関するシンポジウム論文集，Vol.10, 2013
- 3) 池田学，萬代能久，吉田直人：短柱 CFT 部材の曲げ耐力・変形性能の算定法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.2, pp.1135-1140, 2011.
- 4) 萬代能久，吉田直人，池田学：高強度材料を用いた円形 CFT 部材の曲げ耐力・変形性能の算定に関する試み，第 9 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，2011.
- 5) Mander, J. B., Priestley, M. J. N. and Park, R.: Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol.114, No.8, pp.1804-1826, 1988.
- 6) 村田清満，山田正人，池田学，瀧口将志，渡邊忠朋，木下雅敬：コンクリート充填円形鋼管柱の変形性能の差異評価，土木学会論文集，No.640/I-50, pp.149-163, 2000.
- 7) 池田学，萬代能久，斉藤雅充，吉田直人：コンクリート充填鋼管部材の補修方法に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.35, No.2, 2013