

鋼箱桁橋支承部への CFT 補剛材の適用に関する三次元有限要素解析

大阪市立大学大学院 学生員 ○永田 順一
株式会社横河ブリッジ 正会員 三浦 芳雄
国土技術政策総合研究所 正会員 下津 隆介

大阪市立大学大学院 正会員 鬼頭 宏明
大阪市立大学大学院 学生員 牧野 修幸

1. 研究背景と目的

現在、鋼箱桁橋の支承部において、ダイアフラムの座屈で生じる箱桁の断面変形による橋梁の耐力低下を防ぐため、道路橋示方書¹⁾に基づく許容応力度設計により複数の厚鋼板から成る補剛材が配置されている(表-1(A))。この補剛材配置には、施工性や維持管理性、経済性など、いくつか改善すべき点が挙げられる。

これに対し著者らは、圧縮耐力と靱性に優れた CFT、すなわちコンクリート充填鋼管(Concrete Filled steel Tube)の補剛材への適用を考え、CFT の許容耐力に基づく試設計から、構成の単純化や鋼材使用量の削減、溶接線長の短縮、および雨水の滞留を招く狭隘な箇所の解消が可能となることを示した²⁾(表-1(B))。

ここでは三次元有限要素解析を用いた、従来の厚鋼板から成る補剛材と CFT から成る補剛材の応力性状の比較により、補剛効果及び CFT 補剛材の有用性の考察や、鋼管の幅厚比による補剛効果の違いの考察を行う。

2. 数値解析手法

本研究では実設計の鋼箱桁橋(図-1)の支承部(図-2)を参照し、実際の箱桁支承部周辺に近いモデルを作成して三次元有限要素解析を行う。本研究では常時の死荷重と活荷重に伴う反力を考慮する。

解析には汎用解析コード DIANA 10.1³⁾を使用した。解析モデルの構築にて、充填コンクリートにはソリッド要素、鋼材には曲面シェル要素を用いた。コンクリートの圧縮挙動には Feenstra による放物線モデル、引張挙動には Hordijk によるモデルを適用した。さらに、コンクリートの圧縮挙動には Selby と Vecchio による横方向拘束効果⁴⁾を導入する。鋼材は完全弾塑性体とみなし、Von Mises の降伏条件を適用した。材料定数は表-2 に示す。なお、圧縮破壊エネルギーは中村ら⁵⁾の式を用いて算出した。また鋼材とコンクリートの接触界面に Coulomb 摩擦のインターフェイス要素を設けることで、界面の付着破壊とせん断すべりを考慮した。

表-1 補剛材配置

	(a)正面図	(b)側面図	(c)上面図
(A)厚鋼板補剛材			
(B)CFT補剛材			
方向	橋軸直角方向	橋軸方向	橋軸直角方向

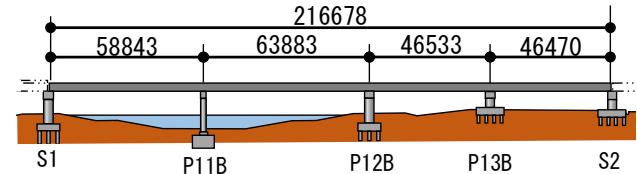


図-1 解析対象の鋼箱桁橋側面図(単位 mm)

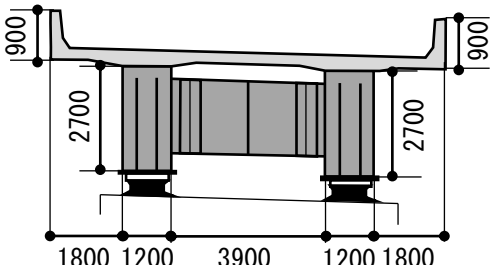


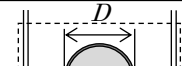
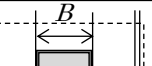
図-2 解析対象の支承部断面(P12B)(単位 mm)

表-2 材料特性、界面特性諸量

コンクリート					
弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比	圧縮強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	破壊エネルギー[N/mm]	
				圧縮	引張
3.1×10 ⁴	0.2	40	2.69	55.5	0.0928
鋼材(鋼管:STK490、鋼管以外:SM490Y)					
使用鋼材	弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比	降伏強度 [N/mm ²]		
	STK490		325		
	SM490Y		355		
インターフェイス(鋼-コンクリート接触界面)					
剛性[N/mm ³]		粘着力 [N/mm ²]	摩擦角 [rad]	引張強度 [N/mm ²]	
法線方向	せん断方向				
1.0×10 ⁴	1.0×10 ⁴	0.897	0.286	2.69	

キーワード コンクリート充填鋼管、鋼箱桁橋、支承部補剛材、非線形有限要素解析
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, TEL 06-6605-3050

表-3 CFT 補剛材モデル一覧および寸法(単位 mm)

		円形CFT補剛材				角形CFT補剛材			
補剛材 上面図									
		モデル名	D	t	D/t	モデル名	B	t	B/t
幅厚比	大	C1	700	8	87.5	R1	500	9	55.6
	中	C2	609.6	9.5	64.2	R2	450	12	37.5
	小	C3	558.8	12.7	44.0	R3	400	19	21.1

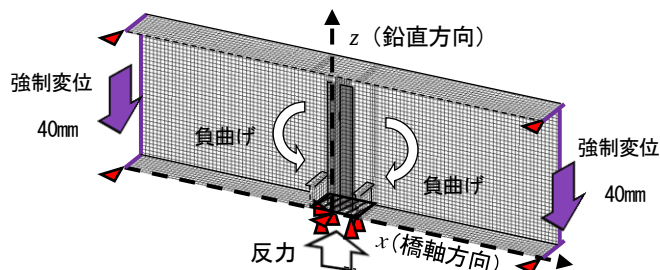


図-3 解析モデル、载荷手法、拘束条件

支点反力と地震時水平力を CFT 補剛材が負担する仮定のもと、コンクリート充填鋼管構造設計施工指針⁶⁾による CFT 許容耐力に基づき円形と角形の CFT 補剛材の試設計を行い、それぞれ 3 通りずつの寸法を考え(幅厚比の大きい順に、円形: C1~C3, 角形: R1~R3)(表-3), 解析モデルに適用した。さらに従来の補剛材の解析モデルも作成し、このモデルを xz 平面で半分に切断した図を図-3に示す。支点反力と箱桁曲げを同時に発生させるため、箱桁両端に鉛直(z)下方向の強制変位を与え、表-1(c)に示すソールプレート位置に鉛直並進拘束を加えた(図-3)。

3. 数値解析結果

支点反力と载荷位置変位の関係を図-4の太線に示す。補剛材による差はほとんど無く、箱桁の断面より算定した初期剛性や終局耐力に近い値をとった。これは反力がウェブに集中したことが理由として考えられる。

また鋼材の降伏開始点を図-4にプロットした。補剛材降伏時の支点反力は $C2 > C1 > R3 > R2 > R1 > \text{厚鋼板}$ で、C3は降伏しなかった。よって厚鋼板補剛材より CFT 補剛材のほうが降伏しにくく、相似な補剛材形状同士で比較すると幅厚比が小さいほうが降伏しにくいことがわかる。

上下間中央の鉛直方向応力度の平均を用いた補剛材の負担反力の算定値に支点反力を除し反力分担率を計算したところ、図-5の結果を得た。常時では補剛材の反力分担率は20%にも満たなかったが、補剛材の剛性と反力分担率は一直線状に近い分布となった。すなわち補剛材の反力分担率は補剛材の剛性に依存すると推測できる。

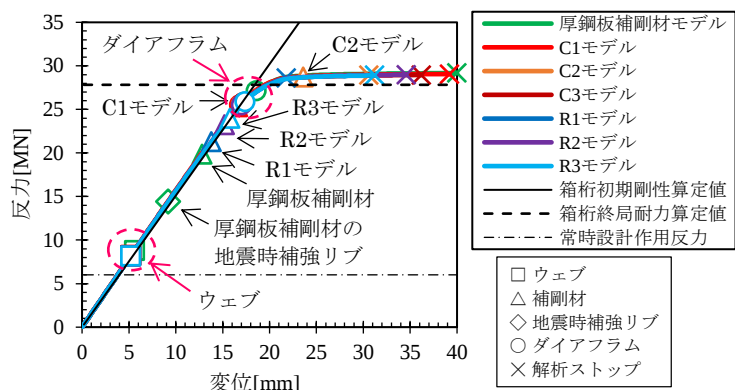


図-4 反力-変位関係と鋼材降伏開始点

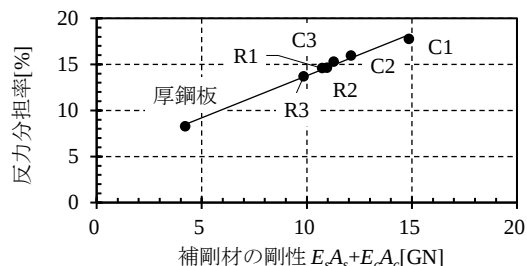


図-5 補剛材の反力分担率(常時)

4. 結論、今後の課題

- 1) 補剛材が橋梁全体に及ぼす影響はほとんどない。
- 2) CFT 補剛材、特に円形 CFT 補剛材は厚鋼板補剛材に比べ鋼材が降伏しにくく、相似の形状の補剛材同士では幅厚比が小さいほど降伏しにくい。
- 3) 補剛材の反力分担率は補剛材の剛性に依存し、コンクリートで剛性を高めた CFT 補剛材は高い反力分担率を示す。

今後は地震時の横揺れを想定した解析による応力性状の比較検討や、橋台支点部に CFT 補剛材を適用した場合の補剛効果の違いの検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編，2012。
- 2) 下津ら：鋼箱桁橋支承部への CFT 補剛材の適用の検討，土木学会関西支部年次講演会概要集，1-25，2016。
- 3) DIANA FEA，DIANA マニュアル ver.10.1，2016。
- 4) R.G. selby and F.J. Vecchio：A constitutive model for analysis of reinforced concrete solids，Canadian Journal of Civil Engineering，Vol.24，pp.460-470，1997
- 5) H.Nakamura，T.Higai：Compressive fracture energy and fracture zone length of concrete，modeling of inelastic behavior of RC structures under seismic loads，ASCE，pp.471-487，2001。
- 6) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，丸善，2008。