

新西海橋の非線形地震応答に及ぼすコンクリートの拘束効果の影響

長崎大学大学院 学生会員 ○宮本敬太 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄
長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三 中国・福州大学 非 会 員 呉 慶雄

1. はじめに

平成 18 年 3 月に開通した新西海橋は、新設道路橋として、日本初のコンクリート充填鋼管(Concrete Filled Steel Tube: 以下CFTと略す)をアーチリブに採用したCFTアーチ橋である¹⁾。

CFT は、鋼管によるコンクリートの拘束効果が期待できるために、コンクリート強度の増加が見込まれている。この前提として、鋼管とコンクリートが密着していることが必要である。しかしながら、設計どおりの完全な施工は無理なことから鋼管とコンクリートが完全に一体となっているとは限らない。また、架設中の打音検査によれば、夏場は鋼管とコンクリートが離れている音がするが、冬場では一体となった音がすることが指摘されていることから、温度差によっても鋼管とコンクリートの密着度が異なることが予想される。

そこで本研究では、コンクリートの拘束効果を考慮したモデル(考慮)および考慮しないモデル(無視)の 2 つのモデルを用いて非線形地震応答解析を行い、両者の応答比較から、コンクリートの拘束効果がアーチリブ外側上弦材の非線形地震応答に及ぼす影響を明らかにする。

2. 新西海橋の概要

本研究の対象となる新西海橋は、長崎県佐世保市と西海市を隔てる針尾瀬戸を跨ぐ橋梁である¹⁾。本橋のアーチリブは、鋼管内部にコンクリートが充填されており、直径 812.8mm の鋼管 3 本を弦材とする逆三角形トラス 2 連で構成されている。左右のアーチリブは 2 組の横梁によって連結されており、横梁以外に左右を連結する部材はない。図-1 に新西海橋の一般図を示す。

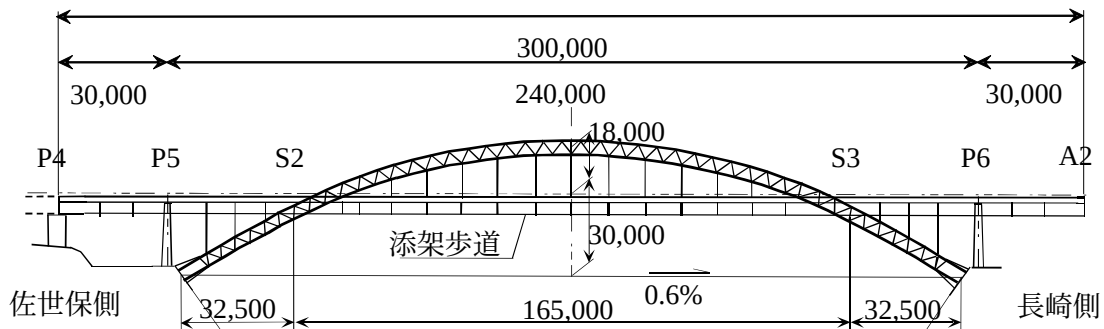


図-1 新西海橋の一般図(単位: mm)

3. 地震応答解析モデル

解析モデルは添架歩道の質量を補剛桁に加えたモデルとする²⁾。図-2 に本橋の構造モデルを示す。CFT構造であるアーチリブ弦材の材料非線形性を考慮するために、軸力変動と 2 軸曲げを自動的に考慮できるファイバーモデルを用いた。要素分割は、鋼管に関して径方向に 2 分割、周方向に 16 分割し、コンクリートに関して径方向に 10 分割、周方向に 16 分割した(図-3)。全要素数は 192 個である。

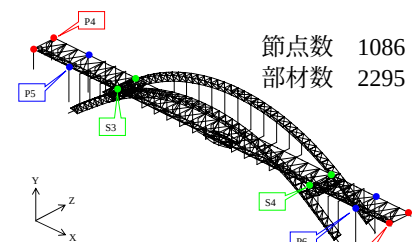


図-2 新西海橋の構造モデル

4. 材料特性

鋼管、充填コンクリートおよびコンクリートの材料定数を表-1 に示す。鋼管の材料特性は道路橋示方書に基づいた完全弾塑性モデルとし、局部座屈に関しては、充填コンクリートによる変形拘束が利くため考慮していない。充填コンクリートの材料特性については、鋼管による影響を付加する佐藤³⁾が提案した応力 - ひずみ曲線および式を用いた。以下に式を示す。

$$\text{降伏応力: } f_{CB} = -\{\sigma_{ck} + 0.8(2T/D)\sigma_{sy}\} \quad (1)$$

$$\text{降伏ひずみ: } \varepsilon_{CB} = -(2.5 + 0.025\sigma_{ck}) \times 10^{-3} \quad (2)$$

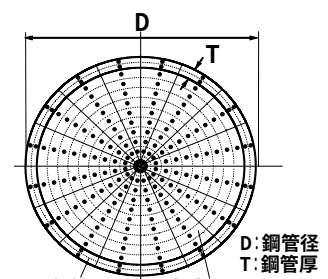


図-3 ファイバーモデルの要素分割(アーチリブ)

ここに, σ_{sy} : 鋼管の降伏応力(kN/m²),

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度(kN/m²)

D : 鋼管径, T : 鋼管厚 である.

CFTアーチリブの鋼管径 D は 0.8128m で一定であるが, 鋼管厚 T は弦材ごとにまたは長さ方向の位置によって異なる. 最大鋼管厚 ($T=0.047$ m) を示す下弦材のスプリング部において, 式(1)より降伏応力は $f_{cb}=69,144$ kN/m², 式(2)を用いれば, 充填コンクリートの降伏ひずみは $\varepsilon_{cb}=0.0035$ となり, 通常のコンクリートに比べ, 降伏応力および降伏ひずみが増加し, 変形性能が高いことが確認できる.

図-4 にコンクリートの応力 - ひずみ関係を示す.

5. 非線形地震応答解析

数値解析には土木・建築向け汎用 3 次元動解析プログラム TDAPIII を用いた⁴⁾. 地震応答解析には, Newmark の β 法 ($\beta=1/4$) を用いた直接積分により非線形動的解析を行った. 積分時間間隔は 1/400sec, 継続時間は 40sec とする.

減衰は, Rayleigh 減衰を用いた. 材料の履歴特性を考慮しないため, 本研究では道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編)⁵⁾に基づき, 減衰定数を 0.02 とする.

新西海橋直下の地盤は道路橋示方書⁵⁾の分類では I 種地盤とされている. 入力地震動は I 種地盤用のタイプ I 地震動(T111, T112, T113)およびタイプ II 地震動(T211, T212, T213)の 6 波の標準波形を地域別補正係数(長崎県: $C_z=0.7$)で振幅補正したものを用いる. なお, 地震動の入力方向は面外方向とする.

6. 結果と考察

拘束効果考慮モデル, 無視モデルのタイプ I 地震動およびタイプ II 地震動に対する外側上弦材の軸力応答を図-5 に示す. また, 他のパラメータについてまとめると表-2 のようになる. この表では各パラメータの絶対値が最も大きくなる位置で比較を行っている. これより, コンクリートの拘束効果の影響は鋼管のひずみに効くが, その大きさは最大 10% 程度である. しかし, さらに地震力が大きい場合には, その影響がより顕著になることが予想される.

参考文献

- 高治正信, 白井武, 田崎智, 茂呂充, 西島儀行, 吉村光弘: 新西海橋主橋部の設計と施工, 橋梁と基礎, 第 40 巻, 第 1 号, pp. 13~22, 2006.1.
- Yoshimura M., Wu Q., Takahashi K., Nakamura S. and Furukawa K.: Vibration analysis of the Second Saikai Bridge -a concrete filled tubular (CFT) arch bridge -, Journal of Sound and Vibration, Vol. 290, pp. 388~409, 2006.
- 佐藤孝典: 円形断面の充填鋼管コンクリート構造におけるコンファインド効果のメカニズムとそのモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第 452 号, pp.149-158, 1993.
- (株)アーク情報システム: TDAPIII 機能説明書, 1999.
- (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編), 2002.3.

表-1 鋼管及びコンクリートの材料定数

	ヤング係数 (kN/m ²)	ポアソン 比	$\sigma_{sy}(\sigma_{ck})$ (kN/m ²)
鋼管 STK400	2.0×10^8	0.300	235,000
鋼管 STK490	2.0×10^8	0.300	315,000
充填コンクリート	2.0×10^7	0.167	40,000
コンクリート	3.1×10^7	0.200	40,000

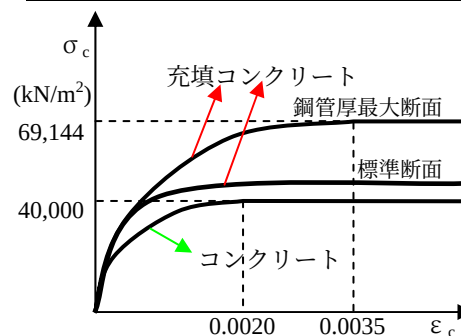
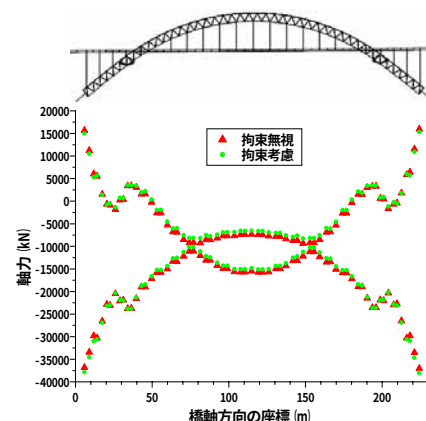
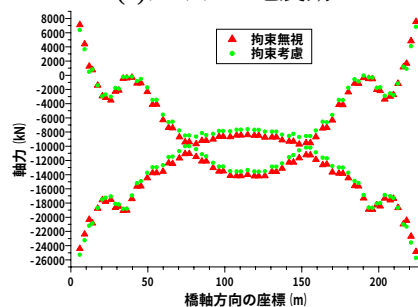


図-4 コンクリートの応力 - ひずみ関係



(a)タイプ I 地震動



(b)タイプ II 地震動

図-5 外側上弦材の軸力の最大応答 (3 波平均)

表-2 タイプ I 及びタイプ II 地震動に対する外側上弦材の応答(3 波平均)

		位置	拘束考慮	拘束無視	差(%)
タイプⅠ	面外方向変位(m)	中央	1.188	1.180	-0.7
	軸力(kN)	基部	-38,041	-37,029	-2.7
	面外曲げモーメント(kN・m)	基部	-3,371	-3,490	3.5
	鋼管のひずみ	基部	-2.09×10^{-3}	-2.30×10^{-3}	9.9
タイプⅡ	面外方向変位(m)	中央	-0.725	-0.723	-0.3
	軸力(kN)	基部	-25,731	-24,857	3.4
	面外曲げモーメント(kN・m)	基部	2,425	2,329	-4.0
	鋼管のひずみ	基部	-1.29×10^{-3}	-1.34×10^{-3}	3.9

差=(拘束無視-拘束考慮)/拘束考慮×100(%)