

コンクリート充填鋼管を主構とする上路式複合アーチ橋の地震時挙動

九州大学 学生員 興梠博宣

九州大学 正会員 彦坂 熙、日野伸一、劉 玉擎

日本鋼管 正会員 中西克佳

1. 序論

近年、コンクリートアーチリブと2主鋼補剛桁を用いた複合アーチ橋の開発が行われている。本研究では、さらにコストの縮減および架設工の改善を目的として、2主鋼補剛桁とコンクリート充填鋼管主構を用いる上路式複合アーチ橋を提案する。コンクリート充填鋼管アーチリブの終局強度照査を行うとともに、中空鋼箱アーチ橋と比較検討することにより、この形式のアーチ橋の基本的な地震時挙動を考察する。

2. 上路式複合アーチ橋の試設計

図-1 に試設計した橋梁の一般図および断面図を示す。この橋はスパン 119m、ライズ 15m の上路式固定アーチ橋で、中心距離を 5.2m とする 2 主構の間には間隔 9m のつなぎ材(D318.5×9.0mm の中空鋼管)を設置する。中間鉛直材は両端の支柱に D558.3×12.7mm の中空鋼管を用い、その他の支柱には D406.4×9.5mm の中空鋼管を用いる。ただし、支間中央支柱の間には中空鋼管を用いた X 型腹材(D216.3×7mm)を設ける。エンドポストは中空鋼管(D558.3×12.7mm)の鉛直材と I 型鋼はり(750×300×9×20mm)からなるラーメンで腹材は中空鋼管(D216.3×7.0mm)を用いる。床組は I 型鋼の 2 主鋼補剛桁(1900×300×15×20mm)と横桁(1320×120×9×15mm)および PC コンクリート床板、アスファルト舗装からなり、補剛桁の両端部を可動支承とする。図-2 に本橋アーチリブの断面図を示す。図(a)は道路橋示方書の許容応力設計によるアーチリブの鋼製箱型断面を示し、本研究ではこれを図(b)のコンクリート充填鋼管に置き換えたものと比較する。鋼材を SM490 とし、充填コンクリートの設計基準強度を 40MPa とする。

3. 充填鋼管アーチリブの終局強度照査

ここでは文献 1) に基づいて、コンクリート充填鋼管を用いたアーチリブの終局強度照査を行う。すなわち、圧縮と曲げを受ける場合は式(1)により、作用曲げモーメントが終局曲げ耐力の 10% 以下である場合は式(2)により照査する。

$$\frac{1.7M_v}{M_{uv}(1-1.7N_v/N_{crv})} \cdot \frac{1}{\phi} \leq 1 \quad \cdots (1)$$

$$\frac{1.7N_v}{N_{uv}} \leq 1 \quad \cdots (2)$$

ここに、 M_v 、 N_v は充填鋼管アーチリブに作用する曲げモーメントおよび軸方向圧縮力で、 N_{crv} は充填鋼管アーチリブの弾性座屈荷重である。 ϕ は充填鋼管の M-N 相関曲線に基づく係数を表し、設計指針¹⁾により決定する。

N_{uv} は充填鋼管の軸方向圧縮耐力を表し、次式により評価する。

$$N_{uv} = \phi_b \kappa [\beta_c (\sigma_{cul} - 1.7\sigma_c) A_s + (0.85\sigma_{ck} + k\sigma_r) A_c] \quad \cdots (3)$$

ここに、 ϕ_b 、 κ はそれぞれ充填鋼管の抵抗係数および全体座屈に対する低減係数を表し、文献 1) を参照して決定

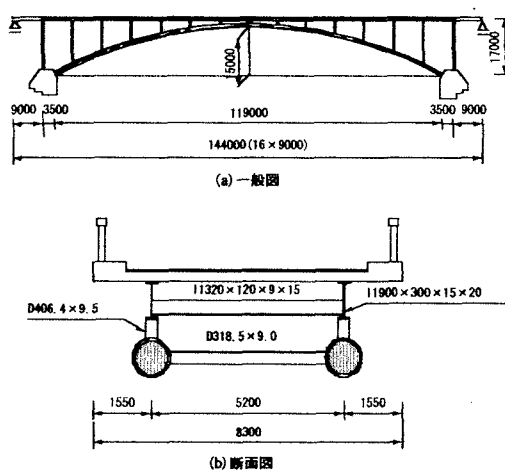


図-1 一般図および断面図(単位: mm)

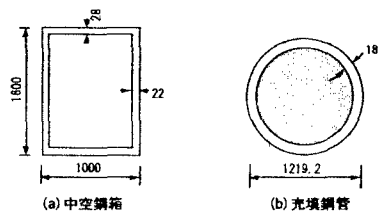


図-2 アーチリブ断面の比較(単位: mm)

できる。 σ_c は充填コンクリート硬化前に作用する応力のうち、構造物の完成後まで残留する鋼管の圧縮応力で、 σ_{cul} は鋼管の局部座屈強度である。 σ_{ck} 、 σ_r は充填コンクリートの設計基準強度および鋼管による側圧を、 β_c 、 k はコンクリート充填による鋼管の降伏圧縮応力の低下係数およびコンクリートの拘束係数を表す²⁾。曲げ耐力 M_{uv} は鋼管と充填コンクリートとのひずみの適合性が保持されるとみなした鉄筋コンクリート方式の計算法を採用し、ファイバー要素により求める。

活荷重はB活荷重のL荷重とし、衝撃荷重は鋼橋の衝撃係数に基づいて与える。表-1に死荷重と不利な応力が生じるように活荷重を載荷させて求めたアーチリブの断面力および照査結果を示し、終局強度の照査を満足していることがわかる。

4. 固有振動特性へのコンクリート充填の影響

表-2にアーチリブのコンクリートを鋼に換算した断面パラメータおよび材料使用量の比較を示す。充填鋼管断面を用いた場合は中空鋼箱の場合より面内曲げ剛度 $E_s I_z$ および鋼材使用量が約1/2に減っており、代わりに640.8tfのコンクリートが充填されている。表-3はアーチリブに中空鋼箱、コンクリート充填鋼管をそれぞれ用いた場合の固有周期と振動モードを示す。中空鋼箱の場合、3次と5次が、充填鋼管の場合、2次と6次が面内振動となっている。面外1次振動の周期はほぼ同じ値を示しているが、面内1次振動の周期は充填鋼管の場合のほうが大きくなっている。

5. 地震時挙動へのコンクリート充填の影響

表-4はType I地震動($a_{max}=318.839\text{cm/s}^2$)、Type II地震動($a_{max}=812.02\text{cm/s}^2$)を橋軸方向ならびに橋軸直角方向から入力し、弾性解析したクラウン部の加速度、変位、およびスプリング部の軸力、曲げモーメントの最大応答値を示したものである。充填鋼管の場合は中空鋼箱の場合より、橋軸方向入力による応答加速度、曲げモーメントが低下しているが、応答軸力は大幅に増大し、他方、橋軸直角方向入力では、応答加速度、曲げモーメントおよび軸力とも増加している。ただし、両入力方向のいずれも応答変位はそれほど違ってはいない。また、Type I地震動の場合は直角方向入力時の応答加速度が橋軸方向入力時の約2倍になっており、Type II地震動の場合より大きな応答を示している。

参考文献 1) 土木学会：鋼構造物設計指針、合成構造物、pp.115-142、1997. 2) 劉玉撃、彦坂熙：コンクリート充填鋼管を用いたアーチ橋の耐震性能に関する考察、第26回地震工学研究発表会講演論文集、pp.1029-1032、2001.

表-1 アーチリブの終局強度照査

照査位置	断面力 $N_v(\text{kN})$	断面力 $M_v(\text{kN}\cdot\text{m})$	耐力 $N_{uv}(\text{kN})$	耐力 $M_{uv}(\text{kN}\cdot\text{m})$	照査結果
スプリング	11300	6180	59800	10080	0.99
クラウン	12600	960	59800	10080	0.36

表-2 アーチリブ断面および材料使用量の比較

リブ断面	$E_s A$ (kN)	$E_s I_y$ ($\text{kN}\cdot\text{cm}^2$)	$E_s I_z$ ($\text{kN}\cdot\text{cm}^2$)	材料使用量(tf)	
				鋼材	コンクリート
中空鋼箱	2.551×10^7	4.304×10^{10}	1.021×10^{11}	241.2	
充填鋼管	3.660×10^7	4.501×10^{10}	4.501×10^{10}	132.2	640.8

表-3 固有振動特性の比較

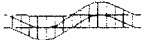
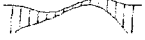
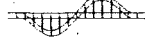
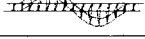
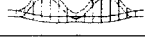
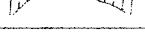
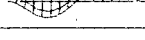
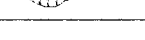
次数	中空鋼箱アーチリブ		充填鋼管アーチリブ	
	周期(s)	振動モード	周期(s)	振動モード
1次	2.12		2.18	
2次	0.85		1.18	
3次	0.85		1.14	
4次	0.65		0.79	
5次	0.62		0.72	
6次	0.60		0.68	

表-4 アーチ橋の最大応答値の比較

断面	入力方向	橋軸方向		橋軸直角方向	
	入力地震波	Type I	Type II	Type I	Type II
中空鋼箱	加速度 $a(\text{cm/s}^2)$	382.9	771.2	708.5	805.9
	変位 $d(\text{cm})$	2.8	5.7	70.4	61.4
	軸力 $N(\text{kN})$	8844	10868	11407	11133
	曲げ $M(\text{kN}\cdot\text{m})$	8707	16740	6383	5017
充填鋼管	加速度 $a(\text{cm/s}^2)$	322.8	614.3	714.9	846.4
	変位 $d(\text{cm})$	4.4	4.9	85.4	60.1
	軸力 $N(\text{kN})$	11652	14298	15072	13318
	曲げ $M(\text{kN}\cdot\text{m})$	7282	8947	9296	6526