

軽量コンクリートを用いたバランスポーチ橋の動的解析

九州大学工学部

学生会員 ○ 荒津大輔

九州大学大学院工学研究院

フェロー 大塚久哲

九州大学大学院工学府

学生会員 Ha Tuan

1. はじめに

我が国で建設される橋梁は近年、長大化の傾向にあり、特にコンクリート橋の場合には、橋の自重低減が課題となっている。軽量コンクリートを用いれば橋全体の自重を軽減でき、さらに慣性力低減による耐震性の向上が期待できる。文献2)では、軽量コンクリートの力学的特性を把握することを目的として、供試体実験を行っており、軽量コンクリートの $\sigma - \varepsilon$ モデルの提案も行っている。

本研究では、軽量コンクリートの使用が予定されているバランスポーチ橋と類似の橋梁モデルを用いて、固有値解析や動的応答解析を行い、軽量コンクリート使用の利点を明らかにした。

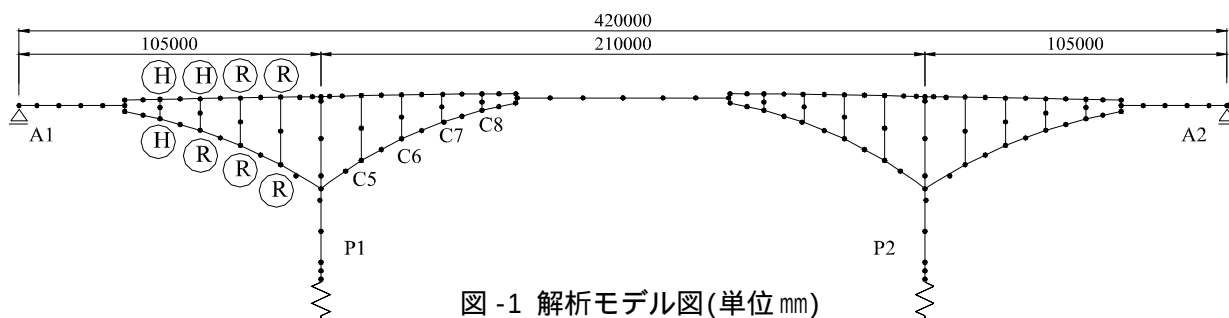


図-1 解析モデル図(単位 mm)

2. 解析モデル及び解析手法

(1) 対象橋梁の概要

本研究で対象としたアーチ橋は、PC3 径間連続バランスポーチ橋で、橋長420m(支間長105m + 210m + 105m)、有効幅員9.5mである。

(2) 解析モデル及び解析条件の設定

図-1に解析モデルを示す。図中のHはヒンジ、Rは剛結を表している。補剛桁は線形はり要素、アーチリブ、鉛直材、橋脚は非線形はり要素、基礎は非線形ばねでモデル化を行った。

入力地震波は、道路橋示方書¹⁾(以下道示)標準波タイプ - 1である。橋軸方向と橋軸直角方向に別々に加振した。

動的解析は、Newmark β 法による直接積分法($\beta = 0.25$)を用いた。積分時間間隔は0.001秒、応答解析時間は残留変位照査の必要性から50秒で行った。地盤種別は種地盤、減衰はRayleigh減衰(1次と3次を使用)としている。非線形部材の復元力特性は、トリリニア型武田モデルとした。なお、幾何学非線形性と軸力変動については事前に解析を行い検討した結果、考慮しない場合とあまり差が見られないため、考慮せずに解析を行った。この橋梁の目標耐震性能は、道示の耐震性能2に設定した。

(3) 解析ケース

表-1に示す3ケースの解析を行い比較検討をした。普通コンクリートモデル(N)は、すべての部材を普通コンクリートとし、軽量コンクリートモデル(LW)は、

表-1 解析ケース

ケース	各コンクリートを使用した部位	
	普通コンクリート	人工軽量骨材コンクリート
LW	フーチング	桁、アーチリブ、鉛直材、橋脚
LW&N	フーチング、桁	アーチリブ、鉛直材、橋脚
N	すべて	—

フーチング以外の部材は軽量コンクリートとし、普通と軽量コンクリートの複合モデル(LW&N)は、フーチングと桁を普通コンクリートとした。ここに軽量コンクリートは単位質量が約 1.9 t/m^3 の膨張頁岩系の人工軽量骨材(粗骨材)を成分とするものであり、詳しい物性値については文献2)を参考にされたい。

3. 部材の材料について

普通コンクリートの $\sigma - \varepsilon$ モデルは道示を、軽量コンクリートについては実験結果をもとに、道示の $\sigma - \varepsilon$ モデルの一部を下記のように修正したものを用いて部材の耐力計算を行った。

$$\sigma_{cc} = 0.945\sigma_{ck} + 0.43\rho_s\sigma_{sy}$$

$$\varepsilon_{cc} = 6.229 \times 10^{-5} \sigma_{ck} + \frac{0.00453\rho_s\sigma_{sy}}{\sigma_{ck}}$$

$$E_{des} = 15786 - 66213 \frac{\rho_s\sigma_{sy}}{\sigma_{ck}^2} \quad [\text{強度 } 40 \text{ N/mm}^2 \text{ 対応}]$$

$$E_{des} = 11673 - 1267200 \frac{\rho_s\sigma_{sy}}{\sigma_{ck}^2} \quad [\text{強度 } 30 \text{ N/mm}^2 \text{ 対応}]$$

4. 解析結果及び考察

(1) 固有値解析結果

表-2 に固有値解析結果を示す．すべての解析ケースにおいて，橋軸方向，橋軸直角方向で1次モードと3次モードが卓越モードになっている．固有周期を各解析ケースで比べると，LW&Nモデルが最も短く，次にLWモデル，Nモデルとなり，この傾向は橋軸方向，橋軸直角方向でも同じである．

(2) 動的応答解析結果

表-3 に動的応答解析より求めた各部材の応答曲率と，計算で求めた各部材の許容曲率との比較を示す．許容曲率での安全率は，目標耐震性能を耐震性能2に設定しているため， $\alpha = 1.5$ を用いて許容曲率の計算を行った．動的応答解析の結果を検討して，応答曲率が大きい部材のみを示す．表から橋軸方向ではアーチリブの曲率の比が厳しく，橋軸直角方向では，上柱の上端部の曲率の比が最も大きいことがわかる．Nモデルでは，アーチリブで曲率の比が1.47を示していて耐震性能2の条件を満たしていない．LW&Nモデルでは，アーチリブの曲率の比が0.99であり，耐震性能2の条件をきょうじて満たしている．LWモデルでは，アーチリブの曲率の比が0.90であり，耐震性能2の条件を余裕を持って満たしている．このことから，目標耐震性能2に対しては，LW&Nモデルが最も合理的なモデルだと言える．また，軽量コンクリートを使用することで，橋梁全体の耐震性能を上げ得ることがわかった．

部材に作用する断面力は，LWモデルとNモデルを比較すると，アーチリブのスプリング部でモーメントが約30%軽減されている．全体的に見ても軽量コンクリートを使用することで，作用する断面力を減少させることがわかった．

表-4 に動的応答解析により得られた基礎への作用力を示す．各モデルを比較すると，軽量コンクリートを使用した部材が多いほど，基礎への作用力(モーメント，軸力，せん断力)は軽減できている．LWモデルはNモデルの約70%であり，軽量コンクリートを使用することで基礎の負担を軽くできることがわかる．

5. まとめ

本研究では，コンクリートバランスドアーチ橋を対象に，普通コンクリートモデル(N)，普通と軽量コンクリートの複合モデル(LW&N)，軽量コンクリートモデル(LW)の3つのケースを解析し，軽量コンクリートの耐震性能に対する優位性という観点から，比較検討を行った．

軽量コンクリートを使用することで橋梁全体の自重を軽減できることから，各部材に作用する断面力を軽減することができ，橋梁全体の耐震性能を上げることが確認できた．

表-2 固有値解析結果

	モード	LWモデル		LW&Nモデル		Nモデル	
		周期 (s)	有効質量比	周期 (s)	有効質量比	周期 (s)	有効質量比
橋軸方向	1	2.05	130.5	1.98	139.02	2.09	166.98
	2	1.11	0	1.07	0	1.05	0
	3	0.81	117.27	0.79	115.8	0.83	131.24
	4	0.77	0	0.71	0	0.72	0
	5	0.67	-2.69	0.63	3.29	0.64	1.4
橋軸直角方向	1	2.6	117.75	2.55	131.12	2.61	155.12
	2	1.69	1.08	1.69	0.66	1.77	0.9
	3	1.42	-108.49	1.31	99.96	1.41	127.1
	4	1.05	-1.24	0.91	-0.81	1	-1.24
	5	0.68	13.01	0.59	-7.23	0.64	-20.44

表-3 応答曲率と許容曲率の比と部材断面力の比較

LWモデル					
加振方向	構造部材	Φ / Φ_a $\alpha = 1.5$	N(kN)	M(kN.m)	Q(kN)
橋軸	アーチリブのスプリング部	0.90	1.1×10^5	3.3×10^5	1.7×10^4
	上柱の上端部	0.26	1.9×10^4	1.6×10^5	1.6×10^4
	下柱の下端部	0.27	1.5×10^5	1.7×10^6	7.9×10^4
橋軸直角	アーチリブのスプリング部	0.17	6.3×10^4	2.8×10^5	1.0×10^4
	上柱の上端部	0.40	6.2×10^3	2.5×10^4	1.6×10^4
	下柱の下端部	0.22	1.4×10^5	1.1×10^6	4.9×10^4

LW&Nモデル					
加振方向	構造部材	Φ / Φ_a $\alpha = 1.5$	N(kN)	M(kN.m)	Q(kN)
橋軸	アーチリブのスプリング部	0.99	1.2×10^5	3.3×10^5	2.1×10^4
	上柱の上端部	0.20	2.3×10^4	1.5×10^5	1.5×10^4
	下柱の下端部	0.24	1.6×10^5	1.4×10^6	7.9×10^4
橋軸直角	アーチリブのスプリング部	0.20	6.8×10^4	3.0×10^5	1.0×10^4
	上柱の上端部	0.46	9.1×10^3	2.8×10^4	1.7×10^4
	下柱の下端部	0.14	1.5×10^5	1.1×10^6	4.6×10^4

Nモデル					
加振方向	構造部材	Φ / Φ_a $\alpha = 1.5$	N(kN)	M(kN.m)	Q(kN)
橋軸	アーチリブのスプリング部	1.47	1.5×10^5	4.6×10^5	2.6×10^4
	上柱の上端部	0.22	2.9×10^4	2.0×10^5	2.0×10^4
	下柱の下端部	0.39	2.2×10^5	2.9×10^6	1.9×10^5
橋軸直角	アーチリブのスプリング部	0.22	8.9×10^4	6.9×10^5	4.3×10^4
	上柱の上端部	0.13	1.0×10^4	4.6×10^4	1.8×10^4
	下柱の下端部	0.27	2.1×10^5	2.3×10^6	9.5×10^4

表-4 基礎への作用力の比較

LWモデル			LW&Nモデル		
M (kN.m)	N (kN)	Q (kN)	M (kN.m)	N (kN)	Q (kN)
1.5×10^6	2.1×10^5	1.0×10^5	1.6×10^6	2.2×10^5	1.0×10^5
Nモデル					
M (kN.m)	N (kN)	Q (kN)			
2.1×10^6	2.9×10^5	1.3×10^5			

基礎への作用力も軽量コンクリートを使用することで橋梁全体の自重を軽減できることから，動的応答解析の結果より約30%軽減できることがわかった．

このことから，目標耐震性能を耐震性能2に設定した場合は，軽量コンクリートを使用した複合モデル(LW&N)が最も合理的であることがわかった．

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編(平成14年度版)
- 2) 大塚久哲，矢葺亘，Ha Tuan：人工軽量骨材を利用した鉄筋コンクリート部材の耐震性能に関する実験的研究 土木学会論文集(掲載可)