

PUFA 充填工法による鋼上路式アーチ橋の耐震補強について

九州大学工学部 学生会員 ○宇山 友理
九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲

九州大学工学部 正会員 劉 貴位

1. はじめに

鋼構造物に対する新しい耐震補強工法の開発や産業廃棄物であるフライアッシュの有効利用を目的として軽量かつ高強度な充填材（以下 PUFA と称する）を開発し、PUFA 充填鋼製構造物の有用性に関する基礎研究¹⁾を行ってきた。PUFA 充填鋼管柱の弾塑性応答特性に関する実験的研究では、鋼管柱内部に PUFA を充填する工法は従来のコンクリート充填工法に遜色なく、既設鋼製橋脚の耐荷力と靱性を大幅に向上させることを明らかにした。本研究では、まず昭和 30 年に架設された鋼上路式アーチ橋の耐震安全性を有しているかどうかを検討した。次に、耐震安全性を有していないアーチリブや支柱に着目し、PUFA 充填工法による耐震補強設計を行った。最後に、従来のコンクリート充填工法による耐震補強結果の比較検討に通じて PUFA 充填工法の耐震補強効果を述べる。

2. 対象橋梁

本研究では鋼上路式アーチ橋（図-1 に示す）を対象に、耐震補強検討を試みた。地震波は日本道路協会の振幅調整波（Type2-1-3）で、橋軸方向及び橋軸直角方向に別々に作用させ、RESP-T を使用して動的応答を求めた。

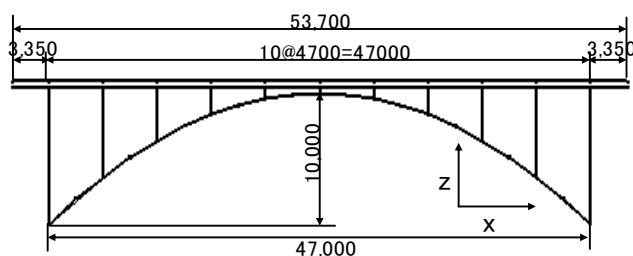


図-1 鋼上路式アーチ橋の側面図

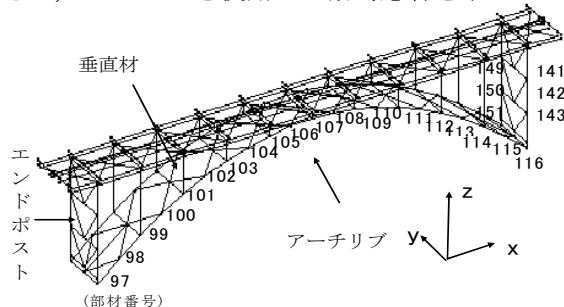


図-2 3次元立体解析骨組モデル

3. 解析モデルと入力条件

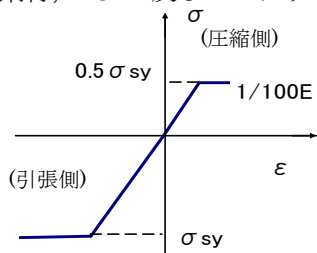
図-2 に 3 次元立体解析骨組モデルを示している。アーチリブ、補剛桁、支柱および RC 床版は 3 次元ビーム要素で、他の部材は全てトラス要素である。当該橋梁の基礎は直接基礎であるため、地盤バネは考慮していないが、パラペット及びパラペット背面の受動土圧を衝突ばねとして使用した。また、主桁支承に関しては、地震時の支承の破壊を考慮し、橋軸直角方向を可動とした。なお、解析条件の設定を表-1 に示している。

表-1 解析条件一覧

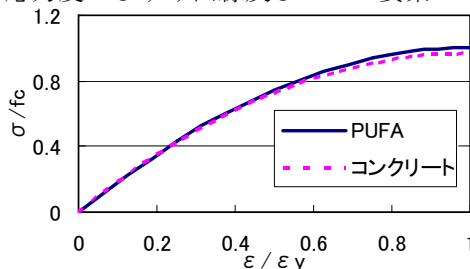
地盤種別	I 種地盤
入力地震波	II-I-3
入力方向	橋軸方向/橋軸直角方向
解析手法	直積積分法
数値積分手法	ニューマークのβ法
積分時間間隔	0.002秒
減衰タイプ	レーリー減衰
地域区分	B地域

4. 軸力変動を考慮した M-φ 関係

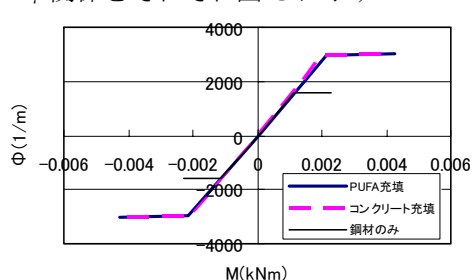
鋼材、PUFA 及びコンクリートの応力度－ひずみ曲線及びビーム要素の M-φ 関係をそれぞれ図-3 に示す。



(a) 鋼材のみの $\sigma - \varepsilon$ 曲線



(b) 充填材の $\sigma - \varepsilon$ 曲線



(c) 充填後の M-φ 関係

図-3 各材料の応力度－ひずみ曲線

本研究では、各材料の応力度－ひずみ曲線を利用して、平面保持の仮定が成立するものとし、軸力を考慮して圧縮縁および引張縁の鋼材の板厚中心位置におけるひずみがそれぞれ降伏ひずみ（ ε_y ）に達する時の曲率と曲げモー

メント (ϕ_{yc}, Myc) 及び (ϕ_{yt}, Myt) のうちいずれか小さい方の曲率と曲げモーメントを (ϕ_y, My) とし, さらに圧縮縁の鋼材の板厚中心位置におけるひずみが初めて許容ひずみに達する時の曲率と曲げモーメントを (ϕ_a, Ma) を算定し, その2点を結んだバイリニア型の $M-\phi$ 関係を設定した. また, 鋼材の応力度-ひずみ曲線は, 鋼材のみの場合は局部座屈を考慮し圧縮側は $0.5\sigma_y$, 引張側では σ_y とし, 充填後は座屈発生を抑制する効果により両者 σ_y を採用した.

5. 照査方法

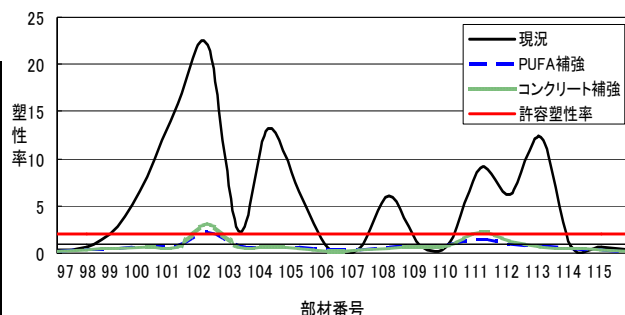
文献²⁾によれば, 鋼アーチ橋の主部材であるアーチリブ, 垂直材などに過大な損傷を生じた場合, 橋梁全体系の崩壊につながる恐れがあるため, 主部材の鋼材の許容塑性ひずみは $2\varepsilon_y$ としており, 本研究でもその値を採用している. 本研究では, 材料の弾塑性応答特性を考慮した時刻歴応答解析で得られた応答塑性率の最大値 (ϕ_{max}) が許容応答塑性率 (ϕ_a) より大きければ, 当該部材の耐震安全性を有していないと判断した.

6. 検討結果

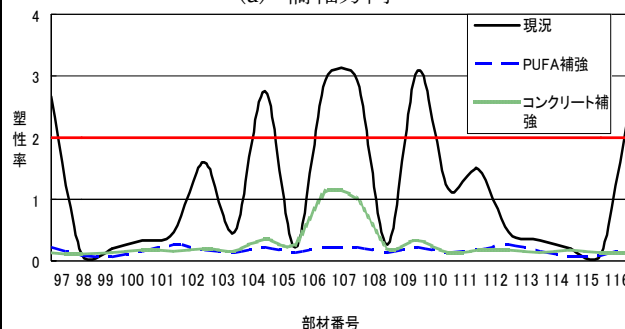
本研究で得られたアーチリブ及び垂直材の最大塑性率 (ϕ_{max}/ϕ_y) を表-2, それをプロットしたものを図-4に示す. 図から分かるように, 地震波を橋軸方向に作用する時アーチリブの $L/4$, $3L/4$ 付近の部材, 橋軸直角方向に作用する時アーチリブの基部と中央付近の部材で耐震安全性を有しておらず, 以上のことからアーチリブ全域で耐震安全性を満足するに至っていない.

表-2 アーチリブの最大応答塑性率

番号	橋軸方向地震波			橋軸直角方向地震波		
	既設断面	PUFA充填	コンクリート充填	既設断面	PUFA充填	コンクリート充填
97	0.359	0.126	0.110	2.659	0.219	0.144
98	0.574	0.317	0.304	0.121	0.083	0.106
99	2.859	0.475	0.438	0.195	0.075	0.130
100	8.051	0.726	0.591	0.326	0.165	0.178
101	15.799	0.851	0.681	0.473	0.275	0.165
102	22.068	2.125	3.042	1.591	0.172	0.202
103	2.369	0.805	0.682	0.461	0.131	0.156
104	13.272	0.695	0.581	2.751	0.223	0.364
105	6.473	0.549	0.449	0.223	0.123	0.263
106	0.502	0.265	0.184	2.942	0.224	1.109
107	0.402	0.279	0.262	2.941	0.224	1.004
108	5.982	0.626	0.539	0.268	0.122	0.202
109	0.705	0.745	0.648	3.091	0.215	0.343
110	1.046	0.867	0.757	1.168	0.129	0.124
111	9.021	1.464	2.210	1.496	0.172	0.189
112	6.240	0.883	1.222	0.471	0.275	0.167
113	12.200	0.741	0.621	0.324	0.165	0.133
114	0.785	0.484	0.459	0.195	0.075	0.185
115	0.639	0.343	0.333	0.122	0.083	0.133
116	0.324	0.137	0.131	2.658	0.219	0.144



(a) 橋軸方向



(b) 橋軸直角方向

図-4 塑性図

以上のことから, アーチリブの全域に対して耐震補強を施した. 図のように, アーチリブでは, PUFA 充填工法とコンクリート充填工法のいずれでもその耐震性能を大幅に改善され, PUFA 充填工法がコンクリート充填工法より応答塑性率を低減できている.

7. まとめ

PUFA 及びコンクリート充填による補強は両者共に断面性能は大きく変わらないが, PUFA の自重が軽量であるため, 従来のコンクリート充填より, 応答塑性率を低減することができた. したがって, PUFA 充填工法は効果的であり, コンクリート充填工法よりも優位性があると考えられる.

参考文献

- 1) 劉, 大塚, 水田, 清水: フライアッシュを用いた超軽量・高強度な材料の開発と静的な力学特性に関する基礎研究, 材料学会論文集 Vol. 55, No8, pp. 738-745, 2006
- 2) 土木学会鋼構造委員会: 鋼構造物の耐震解析用ベンチマークと耐震設計法の高度化, 2000. 4.