PUFA 被覆による上路式鋼アーチ橋の耐震補強について

九州大学工学府　学生会員　○宇山　友理　　九州大学工学府　正会員　劉　貴位
九州大学大学院　フェロー　大塚　久哲

1.はじめに

鋼製部材の新しい耐震補強工法の開発やフライアッシュの有効利用を目的として軽量(密度γ=0.4～1.4t/m^3)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)]を行なってきた．これにより，PUFA による耐震補強工法は，従来のコンクリート充填工法の耐荷力と靭性の向上効果と同等以上であることが確認できた．そこで，本論文ではこれまでの研究を進め，昭和 30 年に竣工された上路式鋼アーチ橋を対象に，動的解析による耐震安全性を照査した．次に性能水準を満足していないと判断された鋼アーチリブ部材に対して，PUFA(γ=1.2t/m^3)被覆による耐震補強設計を行い，補強の効果を解析によって確認した．さらに，コンクリート被覆工法で補強されたものとの比較により，PUFA 被覆による耐震補強工法の有用性を明らかにした．

2.対象橋梁

本研究では上路式鋼アーチ橋（図-1 に示す）を対象に，耐震補強検討を試みた．標準波形 Type2-1-3 を橋軸方向及び橋軸直角方向に別々に入力して，RESP‐T により動的応答を求めた．

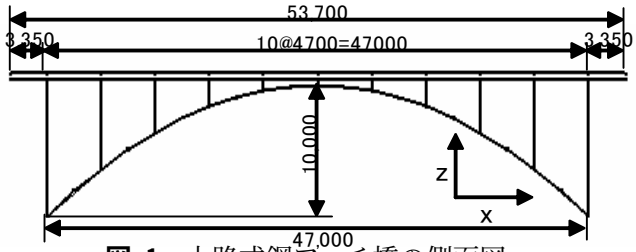


図-1　上路式鋼アーチ橋の側面図

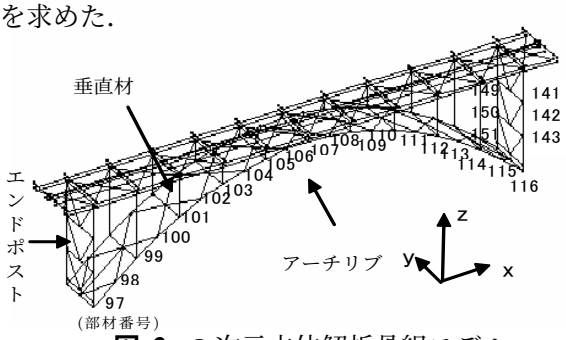


図-2　3 次元立体解析骨組モデル

3．解析モデルと入力条件

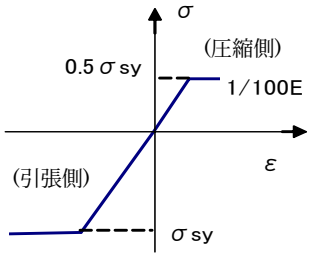
図-2 に 3 次元立体解析骨組モデルを示している．アーチリブ，補剛桁，支柱および RC 床版は 3 次元ビーム要素で，他の部材は全てトラス要素である．当該橋梁の基礎は直接基礎であるため，地盤バネは考慮していないが，パラペット及びパラペット背面の受動土圧を衝突ばねとして使用した．なお，解析条件の設定を表-1 に示している．

表‐1　解析条件一覧

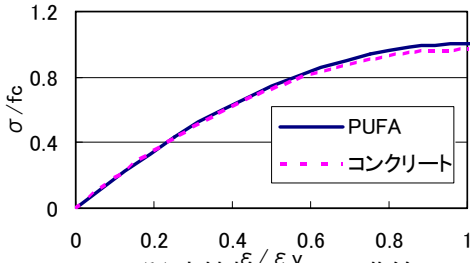
地盤種別	Ⅰ種地盤
入力地震波	Ⅱ-Ⅰ-3
入力方向	橋軸方向/橋軸直角方向
解析手法	直積積分法
数値積分手法	ニューマークのβ法
積分時間間隔	0.002秒
減衰タイプ	レーリー減衰
地域区分	B地域

4．軸力変動を考慮した M－φ関係

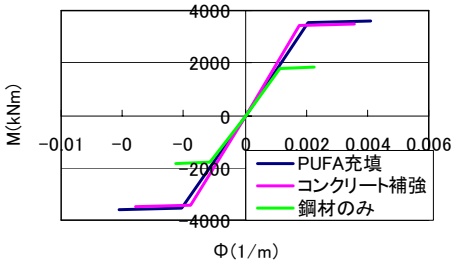
鋼材，PUFA 及びコンクリートの応力度－ひずみ曲線及びビーム要素のM－φ関係をそれぞれ図-3 に示す．



(a)鋼材のみのσ－ε曲線



(b)充填材のσ－ε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，軸力を考慮して鋼材外縁の板厚中心位置において初めて降伏ひずみ（εy）に達する時の曲率と曲げモーメント（φy,My）とし，さらに鋼材外縁の板厚中心位置において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(φa,Ma)を算定し，2 点を結んだバイリニア型の M－φ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

キーワード　耐震補強，フライアッシュ，PUFA(Poly Urethane mixed Fly Ash)，鋼アーチ橋
連絡先　〒819-0395 福岡市西区元岡 744　工学府建設システム工学専攻建設工学研究室 TEL092-802-3374

座屈を考慮し圧縮側では引張応力度の 0.5 倍とし，充填後は座屈発生を抑制する効果により両者σy 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 2εy 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曲率の最大値（φmax）が許容曲率（φa）より大きければ，当該部材の性能水準を満足していないと判断した．

6．検討結果

図-4，5 はそれぞれ既設橋梁と図-6 に示すような PUFA 被覆による耐震補強工法を実施した複合アーチ橋の動的解析で得られたアーチリブの曲率最大最小値である．図-4 に示すように，地震波を橋軸方向と直角方向に別々に入力する場合，鋼アーチリブに生じる曲率最大最小値がそれぞれの許容値（図中の太線で示す）を上回っているものを当該橋梁の耐震補強部材とすると，ほとんどのアーチリブ部材において耐震性能を満足していないことがわかった．そこで，全ての鋼アーチリブ部材に対し耐震補強を施した．一方，図-5 の複合アーチ橋では，地震波を橋軸方向と直角方向に別々に入力する場合の応答曲率最大値（0.0037，0.0018）は，それぞれの曲率許容値（0.0131，0.0041）を下回っている．すなわち，本研究で提案している PUFA 被覆による耐震補強工法は既設鋼アーチ橋の耐震性能を大幅に向上することが可能である．

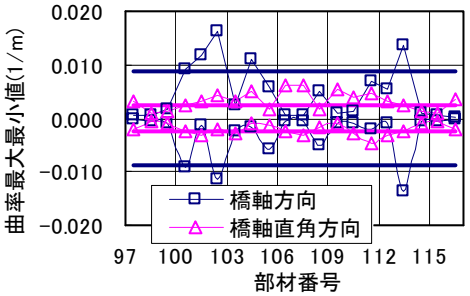


図-4 既設橋梁曲率プロット図

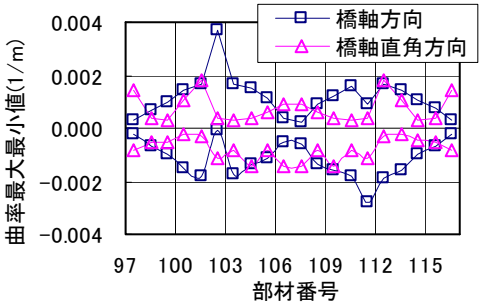


図-5 PUFA 被覆後曲率プロット図

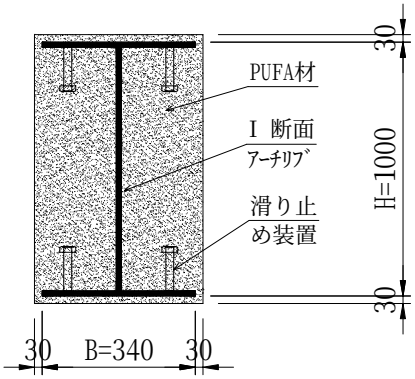


図-6 PUFA 被覆による補強断面構図

次に，支承反力についてコンクリート被覆による耐震補強との比較検討を通じて，PUFA 被覆の有用性ついて示す．橋軸直角方向に地震波入力時のアーチリブ支承における各方向反力の時刻歴応答を示したものが図-6～8 である．図より，コンクリート被覆に比べ PUFA 被覆は，反力最大値・上揚力は最大 15%，支承残留力は 1/3 まで抑制できていることがわかる．これらの差は，PUFA がコンクリートに比べ自重が軽量であるために生じたものである．

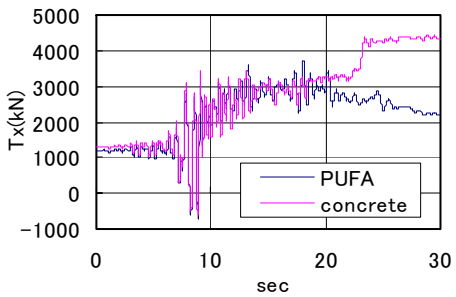


図-7 x 軸方向時刻歴反力

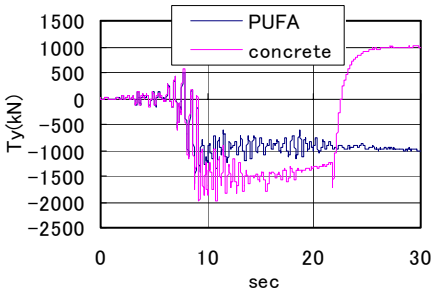


図-8 y 軸方向時刻歴反力

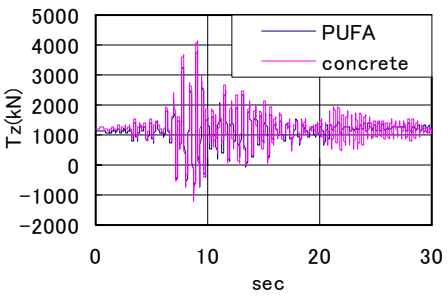


図-9 z 軸方向時刻歴反力

7．まとめ

PUFA 被覆による耐震補強を行うことにより，応答曲率を低減することができ，既設鋼アーチ橋の耐震性を大幅に改善することができた．さらに，PUFA は軽量であり，従来のコンクリート被覆より自重増加による支承への負担が小さいことがわかった．したがって，PUFA 被覆による耐震補強はコンクリート被覆よる耐震補強より若干の優位性を有しており，耐震補強工法として効果的であると考えられる．

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.