

寒冷地塩害環境下の上路トラス橋耐震補強と ASR 対策

(株) 中央コーポレーション ○千葉 慎二
(株) 中央コーポレーション 新銀 武
(株) 中央コーポレーション 江刺 秀樹

1. はじめに

本橋は岩手県九戸郡軽米町に位置する昭和 47 年竣工の鋼単純上路トラス橋で緊急輸送路の一次路線に指定されており、冬季 12 月～2 月の過去 30 年平均最低気温は-7℃に達し、凍結抑制剤散布が行われる塩害環境下の橋梁である。2011 年の定期点検においては「主桁・支承：C」「床版・橋台：B」判定であったが、2016 年の定期点検において「主桁・支承：C2」「床版：E1」「橋台：C1」判定されており、劣化進行が早いことが予想され、早急に対策を講じる必要があった。本工事で行った免震支承・端部対傾構座屈拘束ブレース取替えを含む耐震補強工事および ASR が疑われる床版・橋台のうち、橋台で実施した ASR 詳細調査とその結果を踏まえたコンクリート補修工法についての評価・施工を行った結果について報告する。

上部	形式	単純上路式鋼トラス橋
	支承	ピン・ローラー支承
下部	形式	重力式橋台
	基礎	直接基礎
適用示方書		昭和 39 年鋼道路橋示方書



写真-1 橋梁状況

2. 対象橋梁の概要

2.1 橋梁概要

本橋の橋梁緒言は表-1 に示す通りで橋梁概況を写真-1 に示す。

表-1 橋梁緒言

橋梁名	猿越橋
場所	岩手県九戸郡軽米町
路線名	一般国道 395 号
荷重	TL-20
竣工	昭和 47 年 12 月 (1972 年)
橋長	61.200m
桁長	60.900m
支間長	60.000m
斜角	90°00'00"
幅員	全幅 7.500m
舗装	アスファルト舗装 t=5 c m

2.2 橋梁劣化状況

(1) 腐食劣化 (C2 判定)

橋梁全体に防食機能の劣化が見られ、特に支承部は支承及び主構 1 次・2 次部材も含めて腐食損傷が見られた。支承及び端部対傾構近傍の腐食状況を写真-2,3 に示す。



写真-2 支承状況



写真-3 端部対傾構状況



写真-6 橋台側面状況

(2) ASR が疑われる床版・橋台劣化

橋全体のコンクリートは ASR が疑われる劣化が進行していた。特に床版コンクリートは活荷重の影響も大きく複合劣化が疑われ、またこれまでの定期点検の評価からも劣化進展速度が速いことが推定された。床版及び橋台コンクリートの劣化状況を写真-4～6 に示す。



写真-4 床版下面状況①



写真-5 床版下面状況②

3. 補修・補強工事の概要

3.1 耐震補強設計概要

本橋は「B 種の橋」に区分され、レベル 2 地震動に対して「耐震性能 2」を確保する必要があり、復元設計の結果、橋体及び支承において耐荷力が不足している状態に対して表-2 に示す補強を行って橋体及び支承における耐震性能を確保する設計が行われた。

図-1 に最終的な耐震補強設計における補強概要を示す。

補強構造

1. 免震支承に更新（直角は固定）
2. 端部対傾構を座屈拘束ブレース材に更新（赤線部）
3. 端部下横支材に当て板補強（青線部）
4. 端部下横構をワンランク上の型钢材に更新（緑線部）

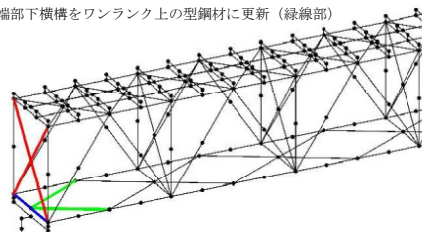


図-1 耐震補強概要

表-2 耐震補強効果

	支承	端部対傾構
改良	免震支承	座屈拘束ブレース
効果	橋軸方向の耐震性確保	橋軸直角方向地震時水平力低減

(1) 免震支承交換工事

免震支承への取替え工事は単純トラス橋を仮支持する必要があった。そのため、設計段階では

- ・格点部の補強
- ・既設落橋防止構造の撤去
- ・ジャッキアップスペースの確保

に着目した設計が行われていた。設計概要を図-2.3 に示す。

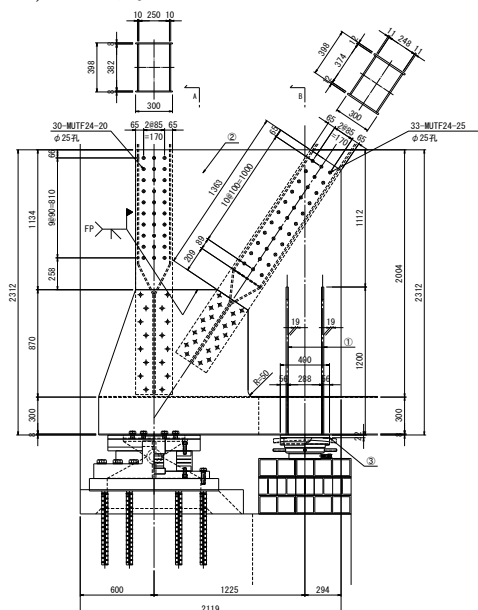


図-2 ジャッキアップ補強設計概要

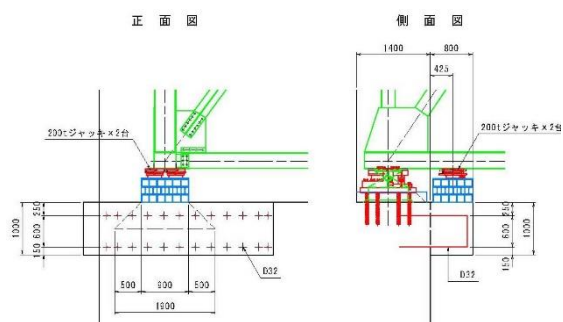
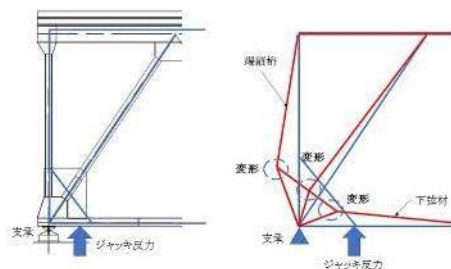


図-3 橋台補強設計概要

設計された仮支持構造について、概略の変形解析を行った結果、図-4.5 に示す通りトラス斜材において荷重分担の際に変形が予想された。そのため、仮支持構造を直接上弦材格点部に仮支持反力を伝達できる構造に変更した。

変更した仮支持斜材構造を図-6に示し、変更後の変形解析結果を図-7に示す。



補強材を入れ込んだ図 予想される変形

図-4 変更前ジャッキアップ変形予想

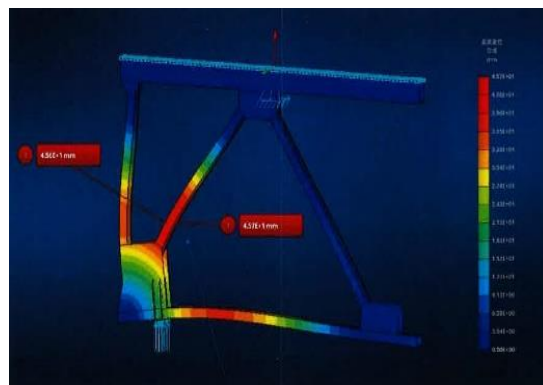


図-5 変更前ジャッキアップ変形解析

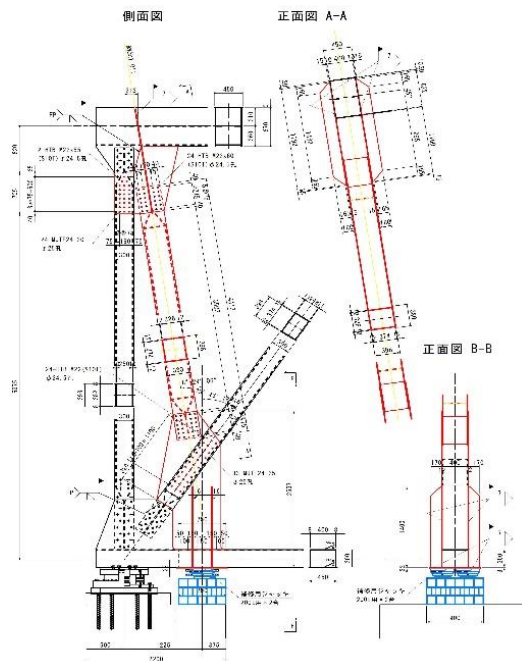


図-6 変更後ジャッキアップ補強図

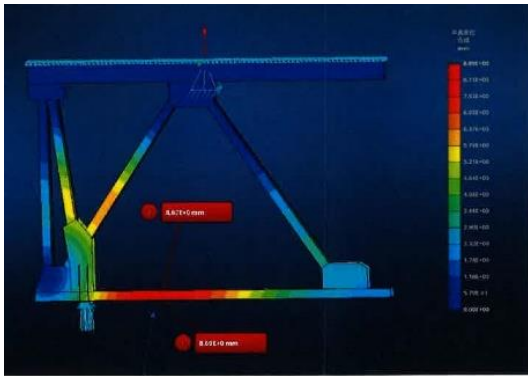


図-7 変更後ジャッキアップ変形解析

②免震支承据付

免震支承の据付は

- ・仮支点による仮支持
- ・既設支承の撤去
- ・免震支承の据付

という順序で施工した。

既設支承の撤去から免震支承への交換において課題となったのは、

- ・腐食した既設部材の撤去更新であった。

特に既設支承近傍の主構造部材は腐食損傷が著しく、断面減少している部材を撤去更新しながら施工を行った。

また、免震支承設置高さの管理も重要な管理項目であり、仮支持している上部工既設支承の構造高さを変更しないで再設置することも課題としてあげられた。

既設支承の撤去から免震支承への更新状況を写真-7,8 に示す。



写真-7 既設支承撤去状況



写真-8 免震支承設置状況

(2) 座屈拘束ブレース交換工事

座屈拘束ブレースは低降伏点鋼材を使用した制震部材で軸力伝達する低降伏鋼の「芯材」を座屈拘束材で外部拘束して全体座屈を抑え、内部の芯材が圧縮・引張両領域において散逸エネルギーとして慣性力を消散する機能を持っている。

端対傾構の座屈拘束ブレースへの交換工事は、現況交通を供用しながら交換に至る荷重分担を確保しながら交換する必要があった。

図-8 に部材交換フローを示し、交換状況を写真 9,10 に示す

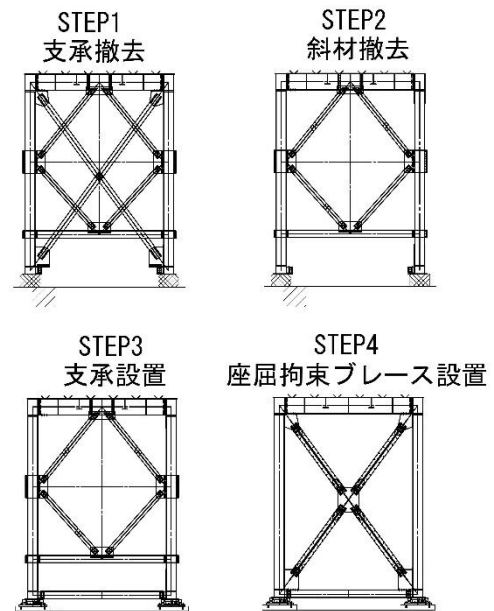


図-8 座屈拘束ブレース交換フロー



写真-9 間隔保持材設置状況



写真-10 座屈拘束ブレース材設置状況

3.3 ASR 評価概要

(1) ASR 判定の為の試験

既往調査で、床版コンクリート及び橋台コンクリートにおいて電子顕微鏡観察試験が行われアルカリシリカゲルが確認されていた。本橋の補修工事では床版コンクリートはプレキャスト RC 床版への更新、橋台コンクリートは ASR 対策を考慮した補修工事が計画されていた。

本工事においては ASR 対策を考慮した橋台コンクリート補修工事について ASR 進行度を把握し、適切な補修方法を選定するために、

- ・岩種判定試験
- ・残存膨張量促進試験

を実施した。

(2) 橋台 ASR 評価試験結果の概要

①岩種判定試験

ASR 残存膨張量試験は各種の試験方法(表-3)

があり、それぞれ特徴があるが膨張挙動は岩種によって異なることや対象コンクリートの環境要因に即した促進試験を行うことが望ましい。そのため、ASR ゲルの発生状況や形態観察、骨材の岩石種や反応性鉱物の同定を行い、総合的に ASR の劣化進行度を軽微(潜伏期)・中程度(進展期、加速期)・顕著(加速期、劣化期)の3段階に評価した。

表-3 ASR 促進試験概要

試験法	(a) JCI-S-011 (JCI-DD2)	(b) アルカリ溶液浸漬法 (カナダ法)	(c) 飽和 NaCl 溶液浸漬法 (デンマーク法)
試験条件	温度 40℃ 湿度 95%以上	温度 80℃ 1mol/L 水酸化ナトリウム溶液に浸漬	温度 50℃ 飽和塩化ナトリウム溶液に浸漬
試験期間	膨張の収束まで(標準 13 週間)	4 週間	13 週間

②ASR の発生状況及び特徴

コンクリートコアの実体及び偏光顕微鏡観察による切断面写真を写真-11・12 に、ASR の進行状況評価結果を表-4 に示す。

結果、ASR は粗骨材の安山岩及び細骨材の安山岩・流紋岩・安山岩質溶結凝灰岩に ASR ゲルに充填されたひび割れが骨材内部から

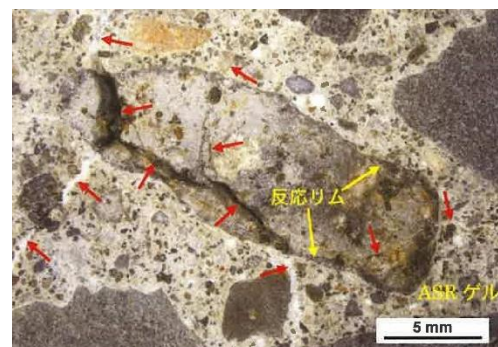
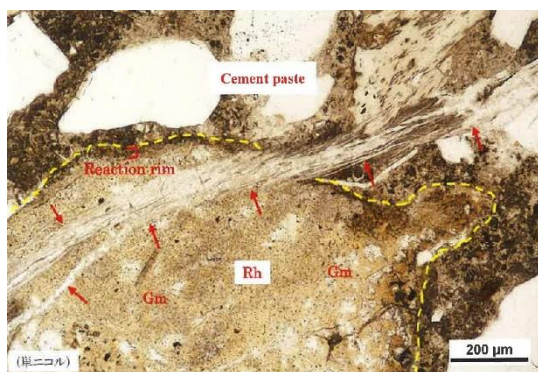


写真-11 実体顕微鏡観察結果



写真－12 偏光顕微鏡観察結果

表－4 岩種判定による評価結果

試料名	岩種	ASR 進行段階 →					劣化度 評価
		i	ii	iii	iv	v	
		骨材 反応 珪	セメント 珪の滲み・ 取り巻き	骨材 珪ひび割れ 珪充填	セメント 珪ひび割れ 珪充填	珪 珪気泡 珪充填	
A1	粗骨材	安山岩	○	○	○	○	3
	細骨材	安山岩	○	○	○	○	3
		流紋岩	○	○	○	○	2
		安山岩質 溶結凝灰岩	○	○	○	○	2
	総合評価						3

セメントペーストへ進展した状態で認められた。さらに安山岩を起点とするひび割れは、セメントペースト中で密集して形成されていた。

これらのことから、コンクリートの ASR による劣化進行度は顕著(加速期～劣化期に相当)と推定した。

ASR 反応性鉱物はクリストバライト・ガラスなどが認められ、セメントペーストには高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材は認められず使用セメントはポルトランドセメントと推定された。

③残存膨張量促進試験

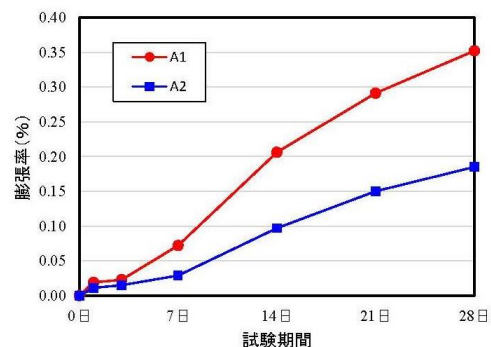
岩種判定試験の結果、本工事で適用可能な残存膨張量促進試験は、

- ・カナダ法
- ・デンマーク法

であることから、試験結果が比較的早期に判明する「カナダ法」を中心に残存膨張量試験を実施して補修対策工法の評価を行った。

カナダ法による残存膨張量促進試験結果を図

－9 に示す。結果



図－9 膨張促進試験結果

- ・ A2 に比べ A1 供試体の方が膨張性が高い
- ・ 両試料いずれも膨張性を示している

ことから、現在比較的劣化は発現していないコンクリート部位においても今後、環境条件によっては ASR による膨張を起こす可能性はあると推定された。

また、膨張性に関して A2 よりも A1 試料で膨張性が高く評価されているが、既往の床版コンクリート試料による調査でも同様の傾向が見られ、原因としては

- ・ A1 側の縦断勾配(橋梁に向かい急な下り勾配)の影響で凍結抑制剤の集積性が高い
- ・ A1 は可動支承で伸縮装置移動量が大きく雨水の流入が多い
- ・ A1・A2 と同じプラントでのコンクリート製造が推定される

ことから、膨張性の評価としては A1・A2 とも同等と評価し、現在の劣化評価は

・潜伏期～進展期

と推定した。

④コンクリート補修工法の選定

コンクリートの劣化原因が ASR と推定されたことから、亜硝酸リチウムを用いた ASR 対策工法を採用した。亜硝酸リチウムの成分のうち、亜硝酸イオンは鉄筋表面の不動態被膜を再生効果があり、リチウムイオンはアルカリシリカゲルを非膨張化する効果が期待できる。そのため、ASR の進展程度により補修工法を

- ・ ASR 加速期部以上・・・撤去・再打設・表面被覆
- ・ ASR 進展期部以下・・・ひび割れ注入・表面被覆

とした。

採用した亜硝酸リチウムによる ASR 抑制効果の概念図を図 10,11 に、補修工法概念図を図 12 に示す。また、施工状況を写真-12 に示す。

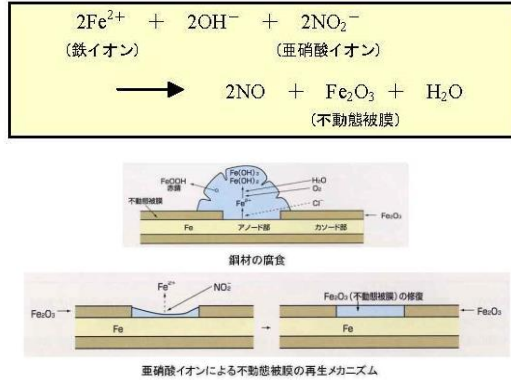


図-10 不動態被膜の修復概念

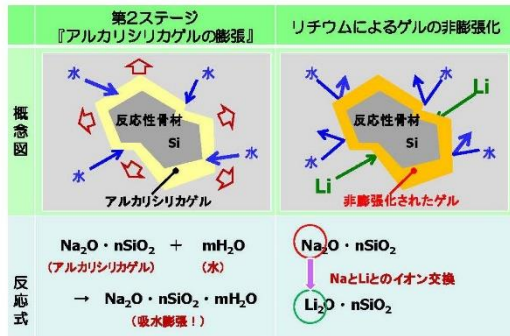


図-11 ゲルの非膨張化概念

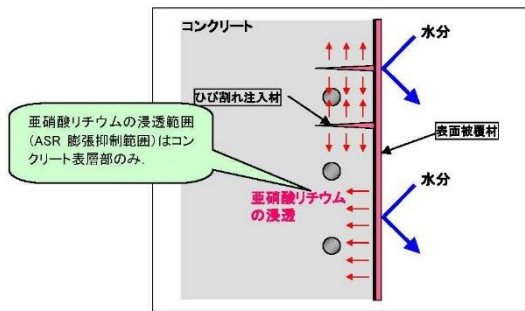


図-12 補修工法概要



写真-12 コンクリートはつり状況

3.4 その他劣化状況

①伸縮装置近傍の腐食損傷

その他の特異な劣化として伸縮装置近傍の腐食損傷が見られた。伸縮装置近傍の主構の劣化状況を写真 13～15 に示す。



写真-13 上弦材端部腐食状況



写真-14 上弦材内部腐食状況



写真-15 上弦材内部滞水状況

伸縮装置が設置してある主構上弦材端部は密閉構造であり、新設時伸縮装置取り付けボルトを施工するために「ハンドホール」が設置され伸縮装置取り付け後、内部塗装を行って「ハンドホー

ル」にて密閉構造としてあったと推定される。

腐食原因となる漏水は、

- ・伸縮装置取り付けボルトからの漏水（長孔構造）
- ・ハンドホール板隙間からの漏水（シールの劣化）
- ・内部結露

などによるものと推定されるが、当社自主調査で下弦材端部密閉部の内部を内視鏡カメラで確認したところ大きな腐食はなかったことから、外部進入水の影響が大きいと推定された。

②補修方法の検討

劣化部位は非常に狭隘で、腐食除去や腐食因子の今後の進入防止を図ることは非常に困難と思われる。しかし、端対傾構鉛直材の断面力を伝達している主要部位であることから、機能回復は重要と考えられる。伸縮装置撤去・交換時に上弦材上フランジ面に開口部を設けて、

- ・ブラスト処理（一種ケレン）
- ・補修塗装

を行い、密閉処理することを提案し、今後の課題とされた。

4. おわりに

本工事で行った免震支承・端部対傾構座屈拘束ブレース取替えを含む耐震補強工事および ASR が疑われる橋台で実施した ASR 詳細調査とその結果を踏まえたコンクリート補修工法の評価などについて報告した。

同形式の上路トラス橋は平面トラス構造での設計が行われている場合が多く、本橋の様な橋軸・橋軸直角方向に対する耐震性を確保する補強工事を行うことは将来における安定した供用を確保するためには重要な事項と考えられる。施工空間が狭隘であったり、トラス独特の高次不静定のピン構造であることから施工上の荷重伝達に制約があるなど施工上の難易度も高いと考える。

また、本工事では ASR 進行度の評価を元に、補修工法の選定を行った。ASR の進行は外的因子の影響が大きく、影響度合いによって劣化進展の度合いや速度にも相違があるため、ASR 進行度を岩種判定＋膨張促進試験から判定し、補修工

法を選定していく手法については有効性があると考えられる。

本工事で検討した事項が今後の補修工事の参考となれば幸いです。本業務を遂行するに当たり、ご指導並びにご協力を賜った岩手県北広域振興局土木部二戸土木センターの関係各位に感謝の意を表します。