

海岸部での鋼製立体栈道橋の適用について

奥村 孝幸¹

¹兵庫県 洲本土木事務所 道路第2課（〒656-0021 兵庫県洲本市塩屋2-4-5）

県道洲本灘賀集線の洲本市小路谷付近は、山側は急峻な山がせまり、海側は崖となっていることから、幅員狭小、線形不良、歩道が未整備の状態であった。さらに、瀬戸内海国立公園特別地域に位置していることから、地形の改変が困難であり長らく改良工事がなされずに交通の難所となっていた。

本論では、当該箇所で作採用した鋼製立体栈道橋への技術的考察及び他の海岸部への適用性等について、今後の展開を述べるものとする。

キーワード 国立公園、鋼製立体栈道橋、金属溶射

1. はじめに

県道洲本灘賀集線は、洲本市塩屋2丁目の国道28号交差点を起点とし、南あわじ市賀集八幡の国道28号交差点に至る淡路島東南の海岸沿いに位置する主要な幹線道路である。



図-1 位置図

このうち洲本市街地と洲本温泉街との間は、高校生の自転車通学に利用されるとともに、洲本温泉街や灘の水仙郷等の観光地へのアクセス道路であることから、大型観光バスの通行も多い区間となっている。しかしながら、山側は急峻な山がせまり、海側は崖となっていることから、幅員狭小、線形不良、歩道が未整備の状態であった。



図-2 改良前の現道の状況

さらに、瀬戸内海国立公園特別地域に位置していることから、工事実施には数多くのクリアすべき問題があり、長らく改良工事がなされずに交通の難所となっていた。

本論文では、上記の問題を解決するために着手した海岸部での鋼製立体栈道橋への技術的考察及び地理的条件が同様の箇所への適用性等について、今後の展開を述べるものとする。

2. 事業内容

(1) 瀬戸内海国立公園内での事業執行上の課題

事業箇所のほぼ全区間にわたり、瀬戸内海国立公園（陸上部：第2種特別地域、海上部：普通地域）に指定されており、自然公園法に基づく工作物の新築許可が必要であった。このため、計画策定段階から環境省と協議を重ね、

- ・ 水際線や法面などの自然環境をできる限り保全すること
- ・ 大規模な地形改変を伴う工法を採用する場合は、任意で環境影響評価法に準ずる調査を行うことなど、環境への影響を最小限にとどめることが求められた。



図-3 国立公園区域図

(2) 道路拡幅工法の検討

急峻な山岳部等で歩道設置及び車道の線形改良・拡幅を行う場合、山側を切土により拡幅するか、崖側に擁壁や補強土壁を設置し盛土によって拡幅するか、もしくは両者の併用案を経済性や施工性によって決定するのが一般的であろう。しかしながら前述のとおり、良好な自然環境を保全することが求められたことから、山岳部で採用されることが大部分を占めていた鋼製立体栈道橋での拡幅を含めて比較検討を行い、経済性には劣るものの環境適合性等に優れる鋼製立体栈道橋による拡幅を採用することとした。

表-1 各工法の比較

	概要図	施工性	経済性 (予備設計時)	環境適合性	総合評価
切土工法		・切土防護欄による現道の交通規制が必要であり、終日片側通行となる ・地盤が急勾配の岩盤であり、工事期間が長期に及ぶ	248万円/m	・地形の改変が最も大きい ・環境影響評価に準ずる調査が必要 ・切土法面の緑化により植生の復元は可能である	経済性・環境適合性とも他案に劣る
盛土工法		・現道外での工事が大部分であり、交通規制は伴わない ・現場打コンクリート、盛土工量、捨石の施工量が多く、工事期間が長期に及ぶ ・公有水面埋立許可が必要である	143万円/m	・地形の改変が大きい ・環境影響評価に準ずる調査が必要 ・盛土法面の緑化により植生の復元は可能である	環境適合性で鋼製立体栈道橋工法に劣る
鋼製立体栈道橋工法		・現道との接続箇所には土留擁壁が必要であり、終日片側通行となる ・他の2案に比べ工事期間は短い	172万円/m	・地形の改変が最も少ない ・環境影響評価は不要である	経済性に劣るものの、環境適合性で他案より優れる

(3) 海岸部における鋼製部材の防食工法の検討

海岸部で鋼製部材を使用するにあたり、施工性や将来的な維持管理性を含めた防食工法を検討することが重要である。鋼橋で一般的に用いられる防食対策は、下表のとおり重防食塗装(C-5系塗装)や溶融亜鉛めっき、耐候性鋼材の使用、亜鉛・アルミニウム金属溶射などである。

表-2 鋼道路橋の代表的な防食方法の適用環境比較

防食法	劣化因子/劣化促進因子	環境
		飛来塩分量が少ない環境 ⇔ 飛来塩分量が多い環境
塗装	一般塗装 紫外線、水、酸素／塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲
	重防食塗装 紫外線、水、酸素／塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲
耐候性鋼材	水、酸素／塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲
溶融亜鉛めっき	水、酸素／塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲
金属溶射	封孔処理 水、酸素／塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲
	重防食塗装 紫外線、水、酸素／塩分、亜硫酸ガス等	適用可能範囲

その他、橋梁構造物の耐久性を向上させるために、多種多様な防食工法が開発され実用化されている。これらの工法は、塗装法・塗料・塗膜厚・加工の技術によって、コスト・耐久性・適用範囲なども異なる。そのため、海水が直接飛沫し、台風時や冬季風浪時に飛石等が衝突する恐れがあるという特殊な条件下にある本橋梁に適用できる工法を整理し、耐久性・LCCを勘案して防食工法を選定することが重要となってくる。以下に、一般的な防食工法の他に、本橋梁で検討した防食工法の特徴を整理する。

- ・ 有機ライニング：ポリエチレンなどの有機系材料を用いて鋼材表面を被覆する工法で、塗装より膜厚が厚く耐摩耗性に優れる。
- ・ 無機ライニング：鋼材表面をセメントモルタルやコンクリートで被覆するモルタルライニング工法や、耐食性金属で被覆する金属ライニング工法などで、無機部材のかぶり厚によって鋼材面を腐食環境から遮断する。
- ・ ペトロラムライニング：ペトロラム系防食材料(石油系ワックス材料の一種)を用いた被覆工法で、波浪や漂流物の衝突防護のため、FRPやPEなどの強化プラスチック等の保護カバーを併用する。
- ・ アルミニウム・マグネシウム金属溶射：亜鉛、アルミニウム、亜鉛・アルミニウム(擬)合金に変わりアルミニウム・マグネシウム(擬)合金を用いた金属溶射で、溶融亜鉛めっきの10倍、亜鉛・アルミニウム金属溶射の2.5倍の防食性能がある。

本橋梁では、海岸部での適用性に劣る溶融亜鉛めっきと耐候性鋼材を除いた6案について比較検討を行い、経済性に最も優れるアルミニウム・マグネシウム金属溶射を採用することとした。

なお、コンクリート部材についても、当然のことではあるが道路橋示方書に規定される鉄筋までの純かぶり厚(70mm

以上)の確保と、ポリ樹脂塗装鉄筋を用いることにより、耐久性を高めている。

表-3 防食工法の比較

	第1案 重防食塗装 (C-5塗装)	第2案 有機ライニング	第3案 無機ライニング
特徴	・複雑な構造物に対しても施工が可能である。 ・新規、補修ともに施工が容易である。	・工場施工であるので安定した高品質の製品となる。 ・弾力性のある硬い塗膜で、耐摩耗性に優れ、長期耐久性がある。 ・海上部の鋼管や鋼矢板に数多く採用されている。	・無機部材のかぶり厚によった腐食環境から遮断できる。 ・塩素イオンの耐透過性や水密性が高い保護カバーを使用することで耐久性が向上する。
耐用年数 (内は塗替期間)	30年 (30年)	40年 (40年)	50年 (50年)
維持管理性	○ 現地にてメンテナンスが可能である	○ 現地にてメンテナンスが可能である	○ 現地にてメンテナンスが可能である
経済性	インシヤル : 7,500円/m ² ランニング : 10,500円/m ² ×3 合計 : 39,000円/m ²	インシヤル : 26,000円/m ² ランニング : 29,000円/m ² ×2 合計 : 84,000円/m ²	インシヤル : 120,000円/m ² ランニング : 120,000円/m ² 合計 : 240,000円/m ²
環境適合性	○ 色彩は自由に選択できる	△ 色彩はある程度自由に選択できる	△ 色彩はある程度自由に選択できる
総合評価	△	△	×
	第4案 ヘドロ処理ライニング	第5案 亜鉛・7%ニッケル金属溶射	第6案 7%ニッケル・マグネシウム金属溶射
特徴	・干満帯や海水中でも施工でき、天候に左右されることがない。 ・施工後の養生が不要である。 ・高強度のカバー材で防食層を保護するため、良好な防食効果が期待できる。	・ボルト、ナット類については現地で塗装が必要である。 ・素材との密着性が弱く、耐衝撃性に劣るが、景観対策として塗装を行うため、ある程度の耐衝撃性は期待できる。	・ボルト、ナット類については現地で塗装が必要である。 ・素材との密着性が弱く、耐衝撃性に劣るが、景観対策として塗装を行うため、ある程度の耐衝撃性は期待できる。
耐用年数 (内は塗替期間)	20年 (20年)	40年 (40年)	100年
維持管理性	○ 現地にてメンテナンスが可能である	○ 現地にてメンテナンスが可能である	○ 現地にてメンテナンスが可能である
経済性	インシヤル : 60,000円/m ² ランニング : 60,000円/m ² ×4 合計 : 300,000円/m ²	インシヤル : 9,600円/m ² ランニング : 12,600円/m ² ×2 合計 : 34,800円/m ²	インシヤル : 11,000円/m ² 合計 : 11,000円/m ²
環境適合性	△ 色彩はある程度自由に選択できる	△ 色彩はある程度自由に選択できる	△ 色彩はある程度自由に選択できる
総合評価	×	△	○

3. 完成後の評価

(1) 道路交通の安全確保について

平成27年3月に全区間の工事完了し、洲本市由良町方面から通学する高校生や、洲本温泉街の宿泊客、従業員など数多くの市民に歩道が利用されている。また、線形改良と幅員拡幅もあわせて行ったことにより、大型車同士の対向も円滑になり、歩行者・自転車とあわせて、車両の交通安全の確保に十分に寄与しているものと考えている。



図-4 完成後の通学状況

(2) 地域に愛される「洲本シーサイドスカイウォーク」

平成27年3月21日の本事業の完成記念式典にあわせ、歩道部の愛称を洲本市が公募した結果、「洲本シーサイドスカイウォーク」という愛称が決定した。また、洲本温泉観光旅館連盟女将の会により、洲本温泉街玄関口の当箇所月季節の花を植えたプランター等で修景し、観光客をもてなす取り組みがなされている。工事着手から約6年間終日片側通行を行い、地域に多大な負担を強いる事業であったが、大きなトラブルがなく円滑な事業進捗が図れたことから、地域の人々が真に待ち望んでいた事業であったことがわかる。



図-5 橋名板と花飾りの状況



図-6 沿道の緑化状況

4. 今後の展開

(1) 適切な維持管理について

約100年の耐久性があるとされるアルミニウム・マグネシウム金属溶射による防食工法を採用したことにより、大規模なメンテナンス工事は不要になったと考えているが、適切な日常点検や定期点検を行い、発錆などは早期に修繕する必要があるだろう。

初期に施工した箇所では、台風時の飛石による表面塗

装のはがれ、溶射皮膜の欠けが発見されており、当面の対応として上塗り塗装を実施している。今後、このような箇所が散見される場合は、橋脚基部をコンクリートで巻き立てるなどの対策工事を検討する必要がある。



図-7 初期完成工区の鋼管基部の状況

(2) 他の海岸地域への適用について

本事業を実施したことにより、島内の同様の地域での歩道設置要望が寄せられるようになった。本事業の成果を踏まえ、ここでは、他の海岸地域での適用可能性について述べることとする。

a) 騒音・振動対策について

事業箇所は、洲本市中心部と洲本温泉宿泊街との間に位置しており、沿道に民家が立地しておらず、工事中の騒音・振動に対する苦情は皆無であった。施工箇所ではダウザ・ホルンマによって硬質地盤を掘削することによる騒音・振動が発生しており、民家が近接するような箇所では施工機械の変更が必要であろう。

b) 防食工法について

前述のとおり、橋脚基部での飛石による塗装、溶射皮膜の欠けが確認されていることから、海岸部においては橋脚部のみうレングなど耐衝撃性に優れた防食工法を採用し、想定外の飛石等にも対応できる仕様にすべきであろう。

c) 現道の交通規制の可否について

本事業では工事期間中の道路交通を確保する必要があったことから、前施工箇所に掘削・架設機械を載せて施工する手延べ式の施工方法を採用している。桁や橋脚の安定計算上、施工時荷重が最も厳しい条件となっており、その条件下において鋼製部材の板厚が決定されている。歩道部のみ拡幅するケースにおいては、手延べ式では不経済な設計となる可能性があることから、適切な迂回路があり現道上から施工が可能な箇所等に限定すべきであろう。

表-4 鋼管杭応力度照査の一例

b) 応力度照査

		突出部		
		常時	地震時	施工時
検 討 ケ ー ス	使用部材	山側載荷	山側載荷	山側載荷
		φ 500.0 × 9.0	φ 500.0 × 9.0	φ 500.0 × 9.0
断 面	材 質	SKK 400	SKK 400	SKK 400
	腐食代	外側 (mm) 0.00 内側 (mm) 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00
性 能	座 屈 長	L (m) 3.000	3.000	3.000
	断 面 積	A (cm ²) 138.8	138.8	138.8
	断面2次モーメント	I (cm ⁴) 41.850	41.850	41.850
	断 面 係 数	Z (cm ³) 1.670	1.670	1.670
	断面2次半径	r (cm) 17.4	17.4	17.4
	条件 (常時・地震時・施工時・温度)	常時 (1.00)	地震時 (1.50)	施工時 (1.25)
断 面	軸 力	N (kN) 366.45	200.61	738.96
	曲げモーメント	Mx (kN・m) 2.21 My (kN・m) - 偏心 Me (kN・m) - 合計 M (kN・m) 2.21	101.01 - - 101.01	142.85 - - 142.85
力	せん断力	Qx (kN) 0.23 Qy (kN) - 合計 Q (kN) 0.23	69.89 - 69.89	97.76 - 97.76
	応 力	σ c (N/mm ²) 26 ≤ 140 ○ σ t (N/mm ²) 0 ≤ 140 ○	14 ≤ 210 ○ 0 ≤ 210 ○	53 ≤ 175 ○ 0 ≤ 175 ○
力	曲げ応力度	σ b (N/mm ²) 1 ≤ 140 ○	60 ≤ 210 ○	86 ≤ 175 ○
	せん断応力度	τ (N/mm ²) 0 ≤ 50 ○	10 ≤ 75 ○	14 ≤ 62.5 ○
力	オイラー座屈応力度	σ ea (N/mm ²) 4037	6055	5046
	照査式 1	0.193 ≤ 1.000 ○ (道示 II 4.3.4式)	0.353 ≤ 1.000 ○ (道示 II 4.3.4式)	0.800 ≤ 1.000 ○ (道示 II 4.3.4式)
力と曲げの照査	照査式 2	27 ≤ 140 ○ (道示 II 4.3.5式)	74 ≤ 315 ○ (道示 II 4.3.5式)	140 ≤ 263 ○ (道示 II 4.3.5式)
	照査式 3	-	-	-
力	曲げとせん断の照査	道示 II 14.3.1式 0.007 ≤ 1.000 ○	0.303 ≤ 1.000 ○	0.542 ≤ 1.000 ○
	総 合 判 定	OK	OK	OK



図-8 施工中の状況

5. おわりに

本事業は東日本大震災後の鋼材や労務費高騰の影響もあり、当初の想定を上回る事業費が必要であったが、完成を待ち望んだ地域住民や観光客から大変喜ばれ、事業として大成功であったと考えている。しかしながら、瀬戸内海国立公園内の海岸部という非常に特殊な条件下において、鋼製立体栈道橋を採用したものであり、現状では他の海岸部での適用は困難と考えている。今後、先に述べた技術的課題を改善することで、経済的にも他の工法と遜色ないものになる可能性があると考えている。