

セラミック塗装の橋梁適用に関する研究

～第一報セラミック塗膜の特性とセラミック塗装作業性に関する基礎実験～

Application of Ceramic Coating to Bridges Part 1: Basic Experiments Concerning the Characteristics of Ceramic Coats and on the Manageability of Ceramics in Coatings

成宮隆雄*¹ 村上貴紀*² 吉野信義*³ 塩谷清彦*⁴
 Takao NARUMIYA Takanori MURAKAMI Nobuyoshi YOSHINO Kiyohiko SHIOYA

Summary

The ability to construct a bridge that does not require maintenance work to prevent corrosion, that offers the improved anti-corrosion property after repainting, and that requires only simplified surface preparation for on-site repainting will make a great contribution to the reduction of bridge-maintenance costs. The recently developed cold-setting ceramic paint that can be applied by brushes, rollers, and spray guns is increasingly used for structures in bitterly corrosive environments. The application of ceramic coating to bridges has been studied since the characteristics of such ceramic coats meet the requirements for painting bridges and the improved functions of steel bridges can be expected. As Part 1 of a report on the subject, this paper introduces ceramic coatings, discusses the characteristics of ceramic coats and the utilization of such characteristics, considers their cost benefits, and describes both the manageability of ceramics in coating and other matters related to this subject.

キーワード：セラミック塗装，メンテナンスフリー

1. はじめに

鋼橋の防錆に関するメンテナンスフリー化および旧橋の塗り替え後の防錆力強化とそれに対応した現場塗装における素地調整の簡便化は重要な課題であり、鋼橋の維持管理費の低減に多大な貢献を果たすことになる。鋼橋塗装の合理化案として、一部において全層工場塗装が採用されているが、工場塗装後現場架設までの間に物理的な損傷を受け易いことが難点となっている。現在、長期防錆塗装として、ポリウレタン系またはフッ素系の5～7層塗装が主流であるが、これらの樹脂系塗膜は必ずしも堅固であるとは言えず、受台の当たり面等の損傷が特に著しい。また、一般の樹脂塗装系では屋外において紫外線および大気中の酸素と反応して塗膜表面で徐々に樹脂が分解するなど、耐候性が経時的に劣化する傾向がある。

鋼橋のメンテナンスフリーに準じる防錆方法としては①耐候性鋼材仕様、②溶融亜鉛メッキ仕様、③亜鉛またはアルミ溶射仕様等があるが、①では初期における錆の流失と環境に依存する防錆皮膜形成の不安定性等、②では溶融亜鉛メッキ槽の大きさによる部材寸法の制約および溶融亜鉛メッキ時の熱変形等、③では高度なプラスト

処理と塗装併用のため費用が増加する等が、ネックとなっている。

鋼橋の防錆・耐候性に関するメンテナンスフリーを指向した防錆方法の具備すべき条件として、下記のことが考えられる。

- ①山野・海浜・海上・都市および工業地帯の環境において、優れた防錆力および耐候性があること。
- ②形成皮膜と母材および形成皮膜の層間の付着力に優れていること。
- ③形成された皮膜の物理的性質（硬さ、靱性および延性等）が優れていること。
- ④大型構造物に対して前処理が容易で、工場および現場において全姿勢での皮膜形成処理作業が可能なこと。
- ⑤表面処理、塗料等材料および作業費等を含めた処理費用が高価とならず、ライフコストを含めたトータルコストが低減可能なこと。
- ⑥皮膜の補修、他の樹脂塗装系との塗り替えが容易にでき、かつ防錆力が優れていること。
- ⑦環境汚染への影響力が小さいこと。

最近、(株)オッティテクノポリスにおいて、刷毛、ローラーおよびスプレーガンによる塗装可能な常温硬化型セラミック塗料が開発され、腐食環境の激しい構造物に採

*¹取締役生産事業本部長

*²千葉工場生産技術研究所

*³松岡塗料

*⁴オッティテクノポリス

用されている。セラミック塗膜の特性が、上記鋼橋塗装のニーズに合致することも多く、さらにセラミックの特性を積極的に利用することにより、鋼橋の機能向上が期待できることから「セラミック塗装の橋梁への適用研究」に着手した。

本報は、第一報としてセラミック塗装の紹介、セラミック塗膜の特性とその利用の検討、経済性比較および塗装作業性等について報告する。

2. OTTIセラミック塗料について

(1) OTTIセラミックのメカニズム

OTTIセラミック塗料は刷毛、ローラー、スプレーガンにより塗装でき、常温で硬化する塗料である。セラミックは高純度の単結晶を複合化したもので、セラミック特有の耐食性・抗菌性・硬さに優れ、立方晶の規則的な原子配列で内部の塑性原子を固溶化することで靱性を高め、緻密で均質な塗膜を形成する。

接着基盤との結合は熱生成による拡散結合と錯体による配位結合で強力に一次結合して素地と接着し、一般の有機樹脂塗料に比べて高い接着強度を発揮する。

また、光による紫外線や赤外線の感度波長より短い波長領域にあるため吸収共鳴が少なく、耐候性にも優れている。

(2) OTTIセラミック塗料製品一覧

セラミック塗料は用途に応じて表-1に示すものがある。

表-1 OTTIセラミック塗料製品一覧

品名	用途	備考
OTTIセラミック#2000	耐塩害・一般防錆タイプ下塗り用	鋼橋・鋼脚等の長期防錆向け 今回の研究対象仕様
OTTIセラミック#250	同上 中塗り用	
OTTIセラミック#260	同上 上塗り用	
OTTIセラミック#3000	耐酸タイプ	
OTTIセラミック#5000	重防食・防汚港湾タイプ	鋼脚・基礎部の海中部
OTTIセラミック#8000	船舶暴露部タイプ	
OTTIセラミック#9000	電磁波防壁タイプ	
OTTセラミック専用パテ	下地処理材	

*塗装方法：スプレー、刷毛塗り、ローラー塗装のいずれも可

(3) セラミックの特性利用により、橋梁塗装として期待できるメリット

OTTI#2000セラミック塗膜の物性を表-2に示した。

特に曲げ延性は良好であり、曲げ試験結果の一例を写真-1に示した。

セラミック塗装により形成された塗膜はセラミックの特性に準じた性能が得られており、その結果として、従来の樹脂系塗装に比べて下記のメリットが期待できる。

- ①耐食性：公害物質等の環境汚染的腐食物（酸性雨、亜硫酸ガス等）に対して、高い防食性が得られる。→ 特性利用のメリット：工業地帯および都市部等の鋼橋の防錆力強化
- ②耐塩害性：塩水、飛来塩分に対して高い抵抗力がある。→ 特性利用のメリット：海中での橋脚・基礎部、飛来塩分の多い海峡および海浜地帯の鋼脚・鋼橋の防錆力強化および路面凍結防止のための塩水噴霧に対する抵抗力強化。
- ③耐候性：紫外線、赤外線の感度波長より、短い波長領域にあるので、エネルギーの吸収共鳴が少なく耐候性に優れている。→ 特性利用のメリット：塗膜の劣化、退色の防止力強化。
- ④接着性：拡散結合と配位結合により共有硬化結合をするため、有機樹脂塗料と比較して高い接着強度がある。→ 特性利用のメリット：塗膜剥離防止力強化およびそれによる耐久性の長期化。
- ⑤高硬化性と耐衝撃性：形成膜が高強度（硬さ）と靱性を共有する特異性があり、衝撃、曲げに対して高い抵抗性がある。→ 特性利用のメリット：塗装時の受け台位置シフトおよび塗装後の仮置きによる塗膜損傷、荷扱いおよび輸送時の不本意打撃による損傷等の減少とそれに伴う補修塗装の減少。
- ⑥防水性：形成膜が緻密なため、高い防水性がある。→ 特性利用のメリット：膜厚が少なくでき、塗り回数が少なくできる。その結果塗装作業費の低減が期待できる。透水による接着面の発錆およびふくれ等を防止でき、塗膜剥離の危険性が減少する。
- ⑦遮熱性：内気温の温度上昇を押さえる特殊機能を有する。→ 特性利用のメリット：新しい付加機能として、外気接触および直射日光のあたる外面塗装により、鋼材の温度変化範囲を小さくし、鋼桁の温度収縮量を減少させ、伸縮継手の遊間距離を縮小できる可能性がある。また、鋼床版の上面に塗装することにより、舗装路面の早期凍結が避けられる可能性がある。
- ⑧耐熱性：通常250℃まで、形成膜に変化がない。→ 特性利用のメリット：鋼床版グース舗装の防水塗装として使用できる可能性がある。また鋼床版裏面において、

表-2 OTTI#2000セラミック塗膜の物性（室温硬化1週間後）

項目 (単位)	OTTI#2000 塗膜物性	試験方法
比重	1.35	
引張強度 (kg/cm ²)	1,400	JIS K6911
引張弾性率 (kg/cm ²)	29,400	"
圧縮強度 (kg/cm ²)	12,000	"
圧縮弾性率 (kg/cm ²)	31,600	"
曲げ強度 (kg/cm ²)	3,600	"
曲げ弾性率 (kg/cm ²)	82,600	"
曲げ伸張率 (%)	20%<	
せん断接着強度 (kg/cm ²)	320	JIS K6911
衝撃強度 (kg/cm ²)	700<	
断熱性 (cal/cm ² ・S・°C)	0.02	
接着強度 (kg/cm ²)	60>	JIS A5400
摩耗性 (1 kg/500 回転)	0.05	
紫外線透過率	膜厚 250 μm -9.2% 膜厚 500 μm -5.6%	
透水性 (Wt%) 20°C	0.001	JIS A5400
温水性 (Wt%) 80°C	0.06	"
体積固有抵抗 (Ω-cm)	10 ¹⁴	
塩酸 30% (20°C)	異常なし	1ヶ月浸漬
硫酸 30% (20°C)	異常なし	1ヶ月浸漬
水酸化ナトリウム 50% 沸点	異常なし	1ヶ月浸漬
次亜塩素酸ソーダ 30% (20°C)	異常なし	1ヶ月浸漬
公害性	大気・海水汚染なし	環境構造安定性

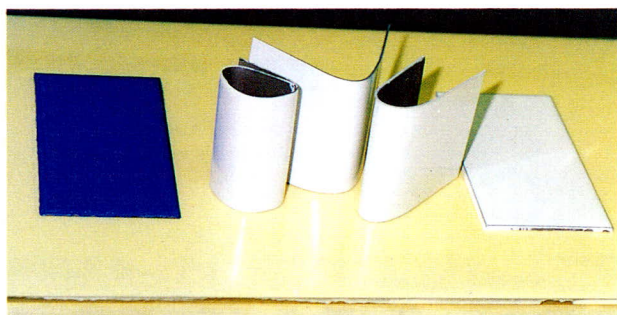


写真-1 セラミック塗膜の曲げ試験の一例

表-3 塗料費および塗装費の経済比較

素地調整	長期防錆フッ素系塗装			セラミック塗装		
	製品プラスト Sa2.5	塗料名称	費用	製品プラスト Sa2.5	塗料名称	費用
下塗り塗料	厚膜無機ゾクリッチ	0.7	100	OTTI#2000	0.15	47
中塗り塗料	ミストコート	0.16		OTTI#250	0.14	
	厚膜型 ^{ボキ} ①	0.3				
	厚膜型 ^{ボキ} ②	0.3				
上塗り塗料	フッ素樹脂	0.17				
上塗り塗料	フッ素樹脂	0.14		OTTI#260	0.13	
塗装費	6回塗装	1.77	100	3回塗装	0.42	47
合計	塗料費+塗装費		100	塗料費+塗装費		90

*塗料使用量: kg/m²

舗装熱による塗膜劣化が避けられる。

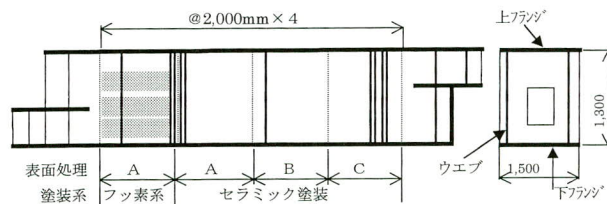
⑨素地調整寄与度が小さい：特別なプライマー塗装が不要であり、また素地調整としてはプラストによる完全ケレン (Sa2.5) が理想的であるが、スィーププラストおよび動力工具ケレンでも塗装可能であり、著しい性能低下はない。→ 特性利用のメリット：損傷補修、塗り替え塗装での防錆力向上が図れ、また、コスト低減が期待できる。

3. フッ素系長期防錆塗装とセラミック塗装の経済比較

長期防錆塗装とセラミック塗装の純塗料費および純塗装費の概略比較結果を表-3に示した。ただし、詳細費用については、いろいろな条件が絡んでくるので今後の検討が必要となるが、現在のところセラミック塗装費用はフッ素系長期防錆塗装と同程度となる可能性がある。

4. セラミック塗装仕様と塗装記録

前述した机上の検討結果を検証するため、図-1に示した箱型構造物試験体（工事桁）を用いて、フッ素系長期防錆塗装系とセラミック塗装系の塗装試験を行った。フッ素樹脂系塗装の素地調整はグリッドプラスト Sa2.5 および無機ジンクプライマーとし、セラミック塗装の素地調整は、A：グリッドプラスト Sa2.5, B：スィーププラスト, C：動力工具ケレンの3通りとした。



表面処理 A: プラスト Sa2.5 B: スィーププラスト C: 動力工具ケレン

図-1 箱型構造物試験体形状および素地調整方法と塗装区分

素地調整後の構造物試験体の全景を写真-2に、素地調整A（グリッドプラスト Sa2.5）、B（スィーププラスト）、C（動力工具ケレン）の素地表面のケレン状況を写真-3～5に示した。今回のセラミック塗装の塗装仕様および実績記録を表-4に示した。なお上塗り塗料の色相はベージュ系とした。

塗装作業はセラミック塗装が全く初めての銅橋塗装の

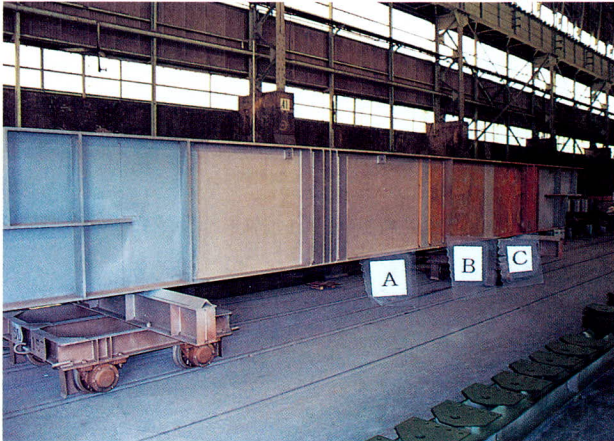


写真-2 箱型構造物試験体の素地調整状況

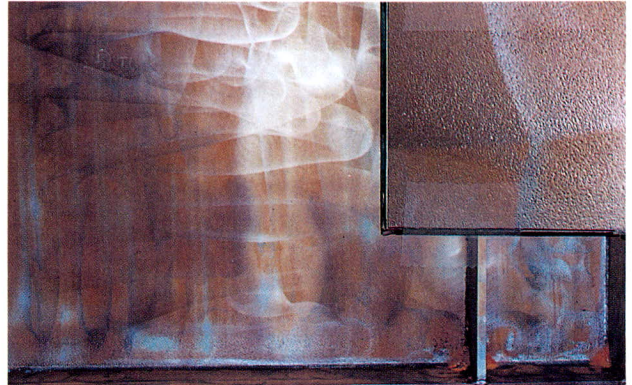


写真-5 素地調整C（動力工具ケレン）表面状況

表-4 セラミック塗装仕様および実績記録

	下塗り	中塗り	上塗り
塗料名	OTTI#2000	OTTI#250	OTTI#260
混合比*1	3 : 1	3 : 1	3 : 1
使用量*2	0.24 (0.15)	0.18 (0.14)	0.18 (0.13)
希釈率*3	15%(15~30)	20%(10~20)	25%(15~30)
エアレス圧力	138kg/cm ²	120kg/cm ²	120kg/cm ²
可使時間*4	1時間以内	5時間以内	5時間以内
塗装姿勢	下向き, 上向き, 立向き		
塗装面積	34m ²	34m ²	34m ²
塗装時間	15分	15分	15分
塗装時気温	17℃	19℃	18℃
指触乾燥	3時間	40分	1時間
塗り重ね時間	各1日(8時間~7日)		

*1: (主材: 硬化材) *2: kg/cm² ()内は標準使用量

*3: ラッカーシンナー希釈率 ()内は標準使用量

*4: 気温5~20℃の場合

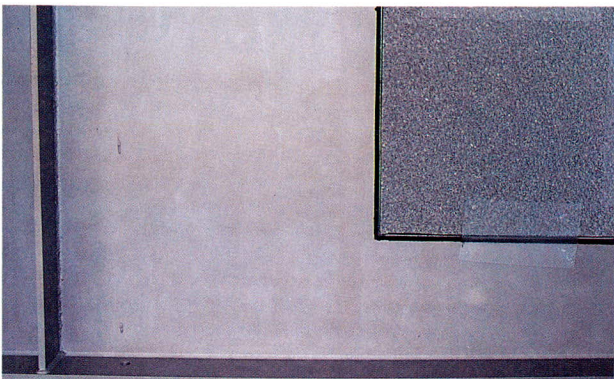


写真-3 素地調整A（グリッドブラストSa2.5）表面状況

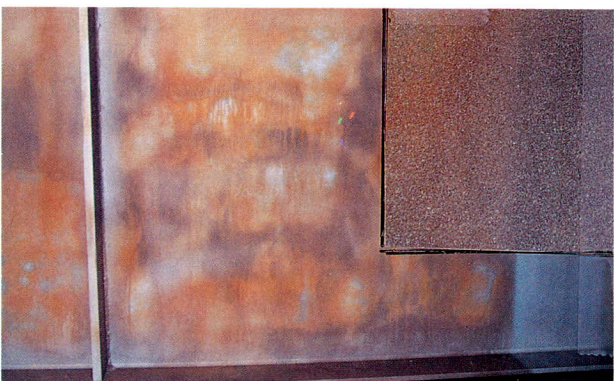


写真-4 素地調整B（スリーブブラスト）表面状況



写真-6 セラミック塗装状況

専門塗装業者が行った(写真-6)。塗装業者のセラミック塗装の印象として、スプレー塗装ではフッ素系樹脂塗料、先行刷毛塗りでは超厚膜型エポキシ樹脂塗料に

似ているとのことであった。特に下塗り塗料は可使時間が短いため、時間が経つと可なり重くなるようである。

塗装品質としては、立向き塗装となるウェブ面に塗膜

のだれと膜厚のかすれおよび若干の微細な気孔が認められた。なお、下向き塗装の上フランジおよび上向き塗装の下フランジは良好な塗膜が形成された。立向き塗装でのこれらの問題は樹脂系塗料でも多かれ少なかれ認められる傾向であり、通常塗料では希釈材の揮発、脱気速度と塗膜硬化速度のバランスを十分検討し専用希釈材を使っている。本来セラミック塗膜は面心立方の最密充填形式を持ち規則的な配列の構造体であり、顕微鏡試験においても空孔は存在しないものであるが、今回はセラミック塗料の希釈材適用自由度が大きいことを利用して、十分な検討をしないで既存のラッカーシンナーを使用した。

立向き塗装におけるこれらの問題は希釈材の種類、希釈率、硬化材の混合比およびスプレーガンチップの選択によつて解決できるものと思われる。次報においてこれらの問題点の検討結果を報告するつもりである。

5. セラミック塗膜の調査

(1) セラミック塗膜厚測定結果

表-5 にセラミック塗膜厚測定結果を示した。塗膜厚測定箇所は一塗膜面を5×5にほぼ均等に割り振りを行った。

大型構造物による初めてのセラミック塗装であり、立向き塗装のウェブ面には厚膜の下塗り塗装において、塗膜のだれ、かすれが認められた。だれの生じた箇所は中塗りに先立ちペーパーヤスリで研削した。上下フランジ面に比べて、ウェブ面の塗膜厚さは少なく、かすれの関係で最小膜厚もかなり小さかった。

(2) セラミック塗膜の観察結果

ウェブ面に生じた下塗りおよび中塗り後の塗膜気孔の顕微鏡写真を写真-7 に示した。気孔の大きさは0.05mm程度であり、気孔の周りはやや膨れあがっていた。

なお、この気孔は詳細な観察の結果、下フランジには極一部に少量認められたが、上フランジには全く認められていない。

これらの原因検討は次回に報告するが、解決可能であると考えている。

仕上げ塗装完了後のフランジ面の光沢およびレベリングは良好であった。また、刷毛塗りにおいても、乾燥後

表-5 セラミック塗装膜厚の測定結果

塗料名 (標準膜厚)	素地調整	部位	膜厚測定結果 (μm)					備考
			測定数	平均膜厚	最小	最大	標準偏差	
OTTI#2000 (70~ 80 μm)	A	上フランジ	25	98	69	130	15.1	○ウェブにだれ、塗膜かすれ、微細な気孔が認められた。 ○フランジ面は良好。
		ウェブ	50	83	41	160	24.9	
		下フランジ	25	83	57	103	13.4	
	B	上フランジ	25	121	72	191	27.2	
		ウェブ	50	73	34	120	18.8	
		下フランジ	25	98	79	127	12.9	
	C	上フランジ	25	112	80	136	12.3	
		ウェブ	50	74	48	111	17.4	
		下フランジ	25	95	69	137	16.2	
OTTI#2000 OTTI#250 OTTI#260 最終塗膜厚 (130~155 μm)	A	上フランジ	25	177	133	244	28.5	
		ウェブ	50	131	65	181	28.8	
		下フランジ	25	134	109	159	15.1	
	B	上フランジ	25	189	164	228	20.4	
		ウェブ	50	135	85	210	26.7	
		下フランジ	25	127	76	185	27.5	
	C	上フランジ	25	181	145	219	18.6	
		ウェブ	50	132	83	176	19.6	
		下フランジ	25	135	105	160	17.6	

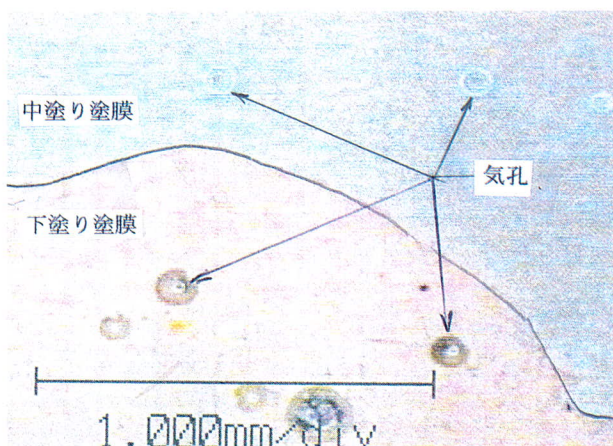


写真-7 ウェブ面の気孔の顕微鏡写真

は刷毛目がなくなり、外観は非常に良好であった。しかしながらウェブ面は気孔の関係で若干ざらついて見えた。また、ダストの付着は非常に少なかった。

6. おわりに

セラミックの特性を利用することにより橋梁のメンテナンスフリーおよび新機能への貢献ができるのではないかと考え、セラミック塗装の橋梁への適用に関する研究を開始した。

セラミック塗装はコンクリート橋への適用が可能であり、同一の塗装仕様で鋼-コンクリート複合橋梁に適用することができる。

これらについて広く意見を求めるため、セラミック塗装に関する十分なデータも得られていない状態で、敢えてセラミック塗装の紹介を兼ねて現在までの経過報告を行った。

大型構造物塗装試験体の他、機械的性質および基本的な防食性を調査するためプレート試験体、ボルト継手部を想定した試験体および海中浸漬試験のためのアングル試験体等を作成しており、今後、塗装作業性、防食性お

よび耐候性、機械的性質等の多くの性能確認試験を予定している。これらの試験結果に基づき、セラミック塗料を鋼橋に適したものに改良していくつもりである。

セラミック塗装の橋梁への適用等に関して、御指導または御意見をいただければ、今後の研究への大きな力となると思われる。

1998.10.31 受付

グラビア写真説明

金桜橋

本橋は福岡市内を流れている樋井川に架かっていたコンクリート橋を1スパンに架替えたもので、橋桁の中に空き缶を埋め込んだ橋梁である。

空き缶は143,750個を使用し、25個を1組に束ねて4～5段に積み重ね、その隙間に発泡硬質ウレタンを充填した特色ある橋梁で、全国で初めての事例である。

子供の頃から地球環境を守り、資源の大切さやリサイクルを考える意識を育てるという趣旨で城南区にある小学校11校の児童約7,000人に協力して貰い、空き缶を収集して出来上がった「市民参加」の橋梁である。

又、本橋右岸側の歩道上に空き缶をデザインして作られたタイムカプセルの中には児童の思いが込められたメッセージが入っており、将来児童達が大人になった時に開けられるとの事です。

(尚、本橋の開通式が平成10年1月22日に行われ、NHKをはじめ地元民放3局がその時の模様を放映し、大いにPRしていただきました。)

(田中)

大淀橋側道橋

国道221号は、都城市を起点とし、高原町・小林市・えびの市を経て熊本県人吉市に至る宮崎県西部と熊本県を結ぶ重要なルートです。そのために大型車も多く交通渋滞の難所になっている所も少なくありません。

大淀橋は昭和36年に当社がゲルバー・飯桁で施工しましたが、車道しかなく歩行者は、常に危険と隣り合わせで渡らざるをえませんでした。近くに小学校もあり、通学路になっているため側道橋を早くと地元の強い要望があり本橋の下流側に景観の映える開放感あふれるニールセンローゼ桁で架ける事になりました。

公共事業の必要性が問われている昨今ですが、この側道橋に関しては、公共事業本来の必要性と地元の方々の強い期待を感じ、9年秋に開通する事になりました。

(矢野)