

The Structural Requirement of the Batman Bridge as They Affect Fabrication of the Steelworks

(鋼構造の製作に影響を与える Batman Bridge の構造上の諸条件)

著者	誌名							ページ	図数	表数	抄録		査読
R.J. PAYNE	The Journal of the Institution of Engineers, Australia, 1967, 11.							199 205	6	0	小川 祐一	原田 康夫	
											トビー工業	横河 橋梁	
分類	①	②	3	4	⑤	⑥	⑦	8	9	10	11	12	備考
	一般	計画	設計	解析	構造	製作	材料	ケーブル	架設	実験	耐風	その他	
	関連ある番号に○印を, 特に詳細なものに◎印を付けた。												

概要

Batman Bridge は直交異方性鋼床版をもつ斜張橋で, 補剛桁は鋼トラスである。この橋の主径間は 205.74m で二車線の車道と歩道を支え, 全幅 10.288m である。北部タスマニアの Tamar 河に建設されたもので, 本論文は橋架の構造選定に影響を及ぼす諸要因について述べ, この構造物の一般的な説明を行っている。製作に影響を与える設計上の諸条件についても討議が行われ, かつそれらの条件と溶接の問題に関連し, 実際の鋼構造物の製作方法について記述されている。防蝕方法についても説明があり, また, 塗装面に対する摩擦接合ボルトの使用についても記述されている。架設方法についても説明がなされ, また, この工事を通じて得た経験についても記述されている。

1. 緒論

Tamar 河は Launceston の南, 北 ESK 川の合流によって形成される幅が広く, かつ深い感潮河川で, 末だこれを横ぎる道路は存在していない。本橋は長さが 5.6km にも及ぶ河口部分の兩岸を結ぶものである。河川に沿って種々候補地を出し, 検討がなされたが, 結局最初に候補に上がった河口幅の最も狭い Whirlpool Reach に決定した。しかし, 両側の沿岸は表面近くに固い岩盤が発見されたが, 東側の沿岸のボーリングでは岩盤に達しないことが判明し, 不安定さを暗示する大きな地層のずれを示す深い粘土の下部層が見い出された。コンサルタントエンジニアは東岸の悪い地盤条件がもたらす困難を克服する方法として, 西岸の良質の硬い岩盤で, 主径間全体を支える特別な設計を提案した。

この設計は橋梁の最初に開発に関する利点を 2 つ取り入れ

ており, 1 つは斜張式による構造物の片持梁形式であり, もう 1 つは, 構造物の自重をできるだけ軽減させることを目的とした直交異方性の鋼床版を使ったことである。

この橋の特色は, 長い支間を支えるケーブルの支持点を効果的にするため, 塔が垂直に対し 20° 傾いていることである。

これは橋にねじれ剛度を増すだけでなく, どの角度から見てもケーブルが交わることがないようにしたためである。

この目的を達成するためには, 垂直の配列がないために, 構造的に動的な性質の保証とバランスを保つことが重要になる。

2. 構造に関して

デッキは 7.316m の車道と 2×1.308m の歩道がついている。塔の高さは, 約 9.6m で 20° 傾斜しており, A 型で, 西岸の粗粒玄武岩上に設置される。塔は補強したコンクリート基礎の上に位置する大きな軟鋼のロッカーにのり, 桁の支承でデッキトラスを垂直かつ横方向に保持している。塔の頂点から取付橋台に向かって後に一対の支索が出ており, 他の三対のケーブルは主径間のトラスを 48.01m の間隔で支えている。塔は溶接箱桁面で, すべての補剛材およびフランジは内側におさまるようにし, 表面はなめらかにしている。

主ケーブルはそれぞれ 70m/m の亜鉛メッキをしたロックドコイルを合わせたもので, 破断荷重は最小 334t である。後方のケーブルは 16 本, 前方は 2 本, 4 本, 4 本のロープで構成されている。ロープは内, 外面を石油樹脂顔料の中にマルその小片が入った非硬化塗料で塗装した。

西側の橋台は大きなコンクリート構造で, 前面の底部端近くでヒンジ止めされている。また橋台の後部は傾斜したコンクリート脚から岩盤までとどく腿によって岩盤にアンカーされ, 傾斜した孔を通じ, 粗粒玄武岩の中の一対のチャンパーへ

結んでいる。

3. 構造用鋼

上部構造は軟鋼の板と形鋼で構成されており、トラスの垂直材、斜材、デッキ、横構および塔の大部分はオーストラリア規格 A 3 3, クラス D もしくは、規格 A 1 の圧延形鋼から製作された。

すべてのトラス弦材と主ガセットは厚さ 25mm/m 以上のトラス斜材のフランジと、デッキのクロスビームの引張フランジと同様 BS-2762, ND1 クラス B のダクタイルプレートから製作される。設計当時は BS 968 は改訂されていなかったため、軟鋼を使用するのが、一般的であった。

4. 設計

主径間のデッキトラスに関する解析は傾斜した支索による内部応用と自体の曲げおよび圧縮による相互作用によって起こる複雑な問題がある。構造計算と架設計算の解析は再三にわたって相当量の計算を必要とした。

この作業の大部分は電子計算機によって行われた。斜張橋に関しては、オーソドックスな吊橋と比較し、振動解析が複雑で、実物大の橋梁による経験が少い。

したがって初期の段階では英国の国立物理研究所において、風洞の中で 1/20 の縮尺のモデルに対し、空気力学的安定テストを行った。直交異方性版をもったデッキの設計は実物の半分モデルのひずみ解析を行い証明した。

5. 特別な公差

本構造物の設計は製作者に非常に厳しい公差を要求している。

(1) トラス関係

トラスの上下弦材は連続ビームとしての曲げ作用およびケーブルの水平分力のために高い圧縮強度に耐えることを要求されている。これらの高荷重は大きな複雑なボルトもしくは実際に用いられる方法、すなわち直接支圧で荷重の半分、グリッポルトで半分に分ける方法のどちらかによって弦から弦へ移すことができる。

したがってトラス弦材の端面は正しい角度に機械仕上げし、ギャップが最大 0.08mm に近い状態にしなければならなかった。しかしこのことは製作者側に不必要な無理は与えていない。

(2) 塔

塔の設計はそれぞれの塔のセクションが、正確に組み立てられ

ること、および端部を機械仕上げすることを要求した。

そのため架設時、断面は少くとも周囲 90%, かつ、どの辺においても 80% 以上、突合せした際お互いに平らであることが設定された。突合せ時 3/1000 のすき間ゲージがジョイントの外側から入ってはならない。このことはケーブルから塔にかかる大きな圧縮荷重が、一断面から他の断面へ直接支圧で伝えられるようにするためである。製作者が端部を約 0.25mm に仕上げた場合、ボルト締め後、断面の添接が 0.08mm になるよう端部フランジに十分な弾力をもたせることを要求している。

6. 製作および溶接に関して

構造物の製作方法については製作者側の責任であって、製作方法は Fotheringham 氏と Barry 氏がオーストラリア溶接協会に発表したレクチャーで 1966 年 8 月号のオーストラリアの土木と建設に発表されたものの中に記述されている。

(1) トラス部材

4 枚の板をそれぞれの弦長に突合せ溶接したため、4 枚の板は箱断面を造り上げるように溶接された。これら角溶接の仕様は、特に部分溶け込みの突合せ溶接を要求している。製作者の中には大きな溶接を行う際、溶け込みがなく、また、非常に高い電流で、板に 1 回で大きな溶接を強引に行う傾向がある。著者はこの傾向は低い延性をもった粗い粒子の溶接につながり、溶接の肩に割れが生じゆがみが発生することになるため良いこととは思わない。この部分溶け込みコーナー溶接に行った最初の試みは前仕上げなしでサブマージーク溶接を 1 回行い、溶接速度を落とし、かつ電流を上げることで溶け込みの種々の深さを出すことであった。

しかし、溶接はプロファイルが不良だったためまずい結果に終わった。

製作者は上下部のプレートの溶け込みの深さ 3.2mm に傾斜をつけサブマージードアーク溶接機でパスを 2 回行うことにした。結果として溶接はなめらかでゆがみが生じなくなった。

(2) デッキ

デッキのすべてのメンバーは完全に突合せ溶接されている。もし、主要なデッキプレートに縦方向の突合せ溶接が含まれており、ストリンガーとデッキの間の縦方向の溶接に隅肉溶接が用いられる場合、直交異方性を有するデッキの疲労強度は重大な問題をもたらす。

このような疲労の影響を大きく受ける構造物ではノッチ効果を避けることが絶対必要である。

すべての部材は run-off, run-on プレートを使い別々に溶接される。

(3) 塔

塔の問題は大断面に対してフィットマップを良好にすることであり、塔には38mmのキャンパーがつけられているので、各断面はきわめて小さな角度で機械加工されることになる。これは断面幅の2万分の1にあたるものである。

溶接はサブマージドアーク溶接を広範囲に用いており、完全に自動化された機械を用いて側壁の突合せ溶接、ボックスコーナーの部分溶け込み溶接を行い、フランジと側壁の溶接に対しては半自動溶接が用いられた。

7. 腐食防止

本橋は工場で完全な防食塗装を行っている。塗装システムは最適の状態で行われ、完全な検査をし、傷があればその場で直している。すべて表面はホワイトメタル状にサンドブラストし、直後にジंकシリケート系の塗料を1回塗り、接続部を除きすべての部材はビニール塗料2回塗りとした。接続部は完全な防食効果が出るジंकリッチ塗装を行い、摩擦接合ボルトを用いる場合の規定は塗装済表面の使用を可とし、すべり係数を決定することは技術者の責任としている。サンドブラストし、ジंकシリケート塗装したボルトのジョイントは何回もテストをした。その結果完全すべりにおける摩擦係数はBS-3294 part 1, 1960に規定されている未塗装のステール面における数値0.45と比較して0.612~0.575の間で変化している。ボックス断面は端部ダイヤフラムでシールされるが、スプライス結合できるように端部より若干内へ入ったところでシールされている。

8. 架 設

西側橋台より架設は開始され13.7m長の部材にしベント上

にのせられる。西側の架設は2番目のベントから前方に片持ち支持状態になった後一時中止し、タワーをクレーンによって建て、後方のステーを取り付けその後再開する。タワーの組み立てを行っている間、東側からもベントを建てながらトラスの架設をする。

トラスの架設が進むにつれてデッキの架設と現場溶接を行う。デッキが完成後、前方のケーブルは順次調整される。

9. 結 論

この橋の経験から製作および架設を成功させるには次のことが必要といえる。

- ① 製作開始に先立つ厳重な材料検査
- ② 製作手順の十分な事前テスト
- ③ 適切な治具の使い方
- ④ 承認された製作手順の厳格な遵守
- ⑤ あらゆるボルト孔の整合および仮組立て

これらが適切に遂行されるならば一般通念に反して原価を低減できる。

なお、製作者が冶金学者の専門的助言を入れて十分な施工手順の検討を行えば、製作中の経費を節約し、失敗を未然に防ぐことができる。検査官に冶金学や設計の経験がないため意志決定を行う際安全サイドに考えすぎる誤りを犯している。

溶接に失敗したケースがあったが、これは施工手順試験が行われなかったためである。

本文献以外に "The Batman Bridge, Tasmania" (Building with steel, Nov. 1968, pp.6~9), "Leaning Tower Supports Stayed Truss Span (Tasmanias Batman Bridge)" (Engineering News Record, June 22, 1967, pp.24~25) がある。