

台湾初の波形鋼板ウェブ PC 橋の設計 — C707 工区 UNIT3・C708 工区 UNIT4 —

(株) 富士ピー・エス 土木本部 正会員 ○熊屋 厚希
 (株) 富士ピー・エス 土木本部 正会員 堤 忠彦
 (株) 富士ピー・エス 土木本部 正会員 河邊 修作

1. はじめに

台湾における高速道路網は、南北に1号線および3号線が通っており、これらを軸に2号線および4号線以降の道路が整備されている。本工事は、台中市街地を取り囲む「生活圏道路」と呼ばれる環状線的高速道路を延伸および3号線と連結する全長23.4kmの建設工事である。工事位置を図-1に示す。

本工事は8工区で構成されており、C707工区の本線高架橋は延長4.235km、18橋、C708工区の本線高架橋は延長1.200km、4橋からなる。このうち、C707工区UNIT3(第3橋)とC708工区UNIT4(第4橋)が波形鋼板ウェブPC橋である。

以下、これらについて実施した詳細設計の概要を報告する。

2. プロジェクト概要

本プロジェクトの組織図を図-2に示す。本工事は交通部台湾区国道新建工程局(T.A.N.E.E.B)であり、中華顧問工程司(以下CECI)による施工管理のもとに、利徳工程股份有限公司(以下REC)が施工を行っている。また、基本設計はCECIが行っている。

本工事のうち波形鋼板ウェブPC橋は、台湾で初めて施工される構造であることから、特記仕様書にて同種工事の経験がある企業からの設計および施工における指導を受けることが必要とされていた。これにより施主、CECIおよびRECに対して、以下に示す内容の技術支援を行った。

- (1) 上部工の詳細設計(応力照査、上げ越し計算、FEM解析)
- (2) 波形鋼板ウェブ製作図面(完成図、製作要領図)
- (3) 施工計画(波形鋼板の架設方法、橋脚仮固定の設計)
- (4) 現場における施工管理および指導(技術者の現地派遣)

3. 橋梁概要

本橋の橋梁概要を表-1, 2, 側面図を図-3, 標準断面図を図-4に示す。



図-1 工事位置図

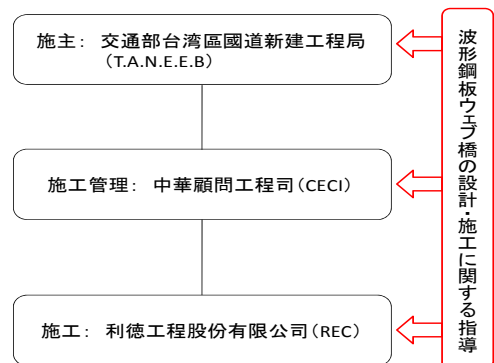


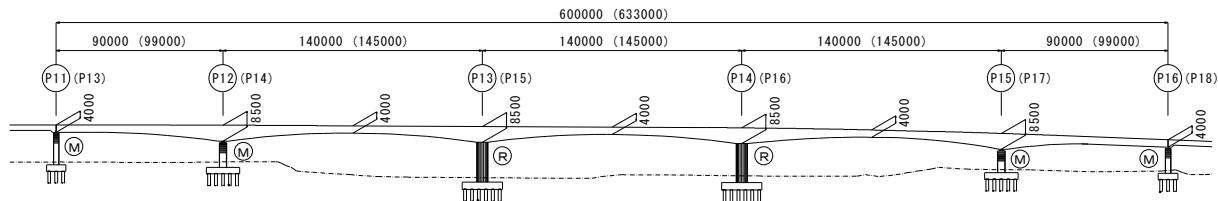
図-2 プロジェクト組織図

表-1 橋梁概要 (C707 工区 UNIT3)

構造形式	PC5径間連続波形鋼板ウェブ3室箱桁橋
架設工法	張出架設
橋長	600.0 m
支間長	89.2+3@140.0+89.2
有効幅員	12.0+12.0=24.0 m
平面線形	R=∞ ~ A=260 ~ R=610(左)
縦断勾配	-0.500% ~ -3.864%
横断勾配	2.00% (↙↘) ~ 5.02% (↙)

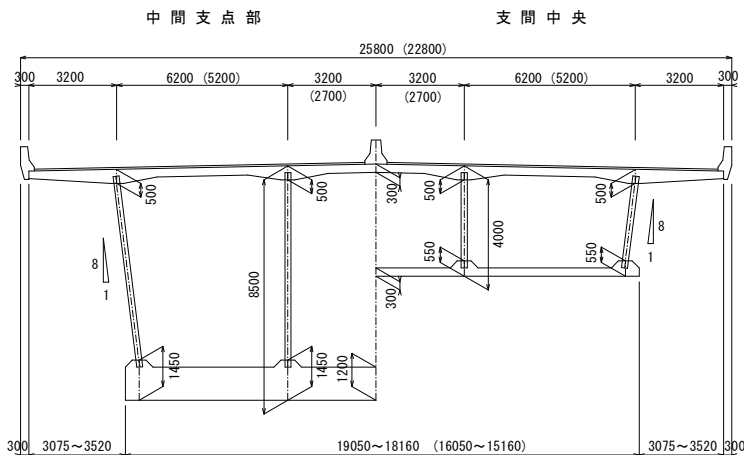
表-2 橋梁概要 (C708 工区 UNIT4)

構造形式	PC5径間連続波形鋼板ウェブ3室箱桁橋
架設工法	張出架設
橋長	633.0 m
支間長	98.2+3@145.0+98.2
有効幅員	10.5+10.5=21.0 m
平面線形	A=300~R=606(左)~A=220~A=345~R=1500(右)
縦断勾配	-0.509% ~ -0.500%
横断勾配	2.00% (↙) ~ 5.04% (↙) ~ 2.36% (↘)



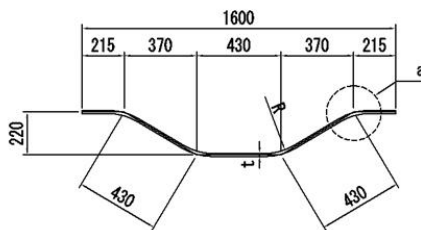
※ ()内はC708工区UNIT4を示す。

図-3 側面図



※ ()内はC708工区UNIT4を示す。

図-4 標準断面図



t	Le	R
13	1705	290
16	1705	290
19	1705	290
22	1702	330

where:
Le = expanded steel length
R = bending radius of steel

図-5 波形鋼板形状

4. 波形鋼板ウェブの仕様

波形鋼板ウェブの形状は、日本での実績が多い図-5に示す形状としている。材質は ASTM A709 Grade50 を使用している。降伏強度は日本での実績が多い JIS SM490Y と同等であるが、台湾で製造される鋼板はシャルピー吸収エネルギーを確保することが困難であるため、曲げ半径は板厚の15倍以上とした。波形鋼板ウェブの規格を表-3に示す。

波形鋼板同士の接合方法は、高力ボルト接合を採用している。せん断力の大きい中間支点部付近では、規定の配置間隔を満足するように高規格のボルトを使用した。高力ボルトの規格を表-4に示す。

高力ボルト孔の径は、拡大孔を使用した場合に高力ボルトのせん断耐力を低減しなければならないことから、標準孔を使用した。張出施工時の波形鋼板ウェブの設置高さ調整は、上げ越し計算結果に基づくキャンバー量および現場の実測値による補正を製作時に行っている。

波形鋼板と上下床版および横桁との接合部構造は、埋込み接合を採用している。

5. 検討項目

5.1 設計概要

上部工の設計は台湾交通部の「公路橋梁設計規範」¹⁾に従った。「公路橋梁設計規範」は「AASHTO Standard Specifications」²⁾に基づいており、許容応力度法による設計となっている。設計活荷重は「公路橋梁設計規範」に示される AASHTO HS20-44 (図-6) を使用している。

表-3 波形鋼板ウェブ規格

区分	台湾	日本(例)
規格	ASTM A709 Grade50	SM490Y
降伏強度 (N/mm ²)	345	355
許容せん断応力度 (N/mm ²)	終局荷重時	200
	設計荷重時	118

表-4 高力ボルト規格

区分	中間支点部	支間中央	日本(例)
規格	ASTM A425	ASTM A325	F10T
径	1inch (=2.54cm)	1inch (=2.54cm)	M22
許容せん断力 (ボルト1本当たり)	66 kN	52 kN	48 kN

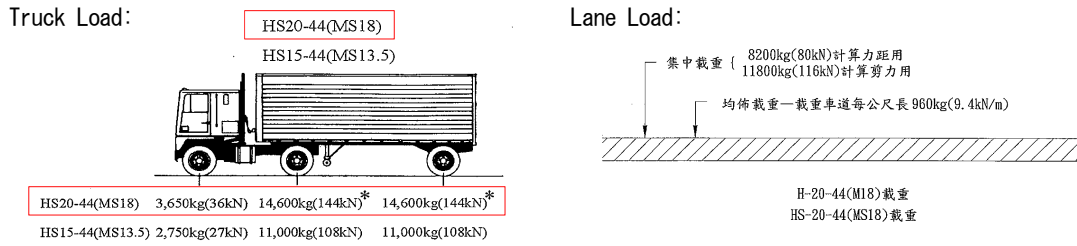


図-6 HS20-44 活荷重

5.2 ブロック分割の検討

張出施工ブロックの分割は、REC が使用するワーゲンの能力から、打設するコンクリートが 1BL 片側当り 100m³ 以下となるように検討を行った。ブロック長は波形鋼板の波長(1600mm)を考慮して、3.2m, 4.0m, 4.8m とした。検討の結果、張出片側当りのブロック数を C707 工区 UNIT3 では 2BL, C708 工区 UNIT4 では 4BL 減らして、架設ケーブル配置、中間横桁および定着突起位置の変更を行った。

5.3 波形鋼板ウェブのせん断座屈強度に対する検討^{4), 5)}

基本設計における波形鋼板ウェブのせん断座屈強度に対する検討は、局部座屈および全体座屈の両者に対するせん断座屈パラメータ λ_s が降伏域となる 0.6 以下となるようにウェブの諸元を決定し、連成座屈に対する照査は省略されていた。

これに対して、せん断強度をより合理的に評価するために、以下に示す照査方法を提案した。

(1) λ_s は非弾性域である 1.0 まで許容し、連成座屈に対する照査を行う。

(2) λ_s が 0.5 程度以下の範囲では座屈強度が過小評価されて不経済な設計となることから、連成座屈に対する照査を行わない。

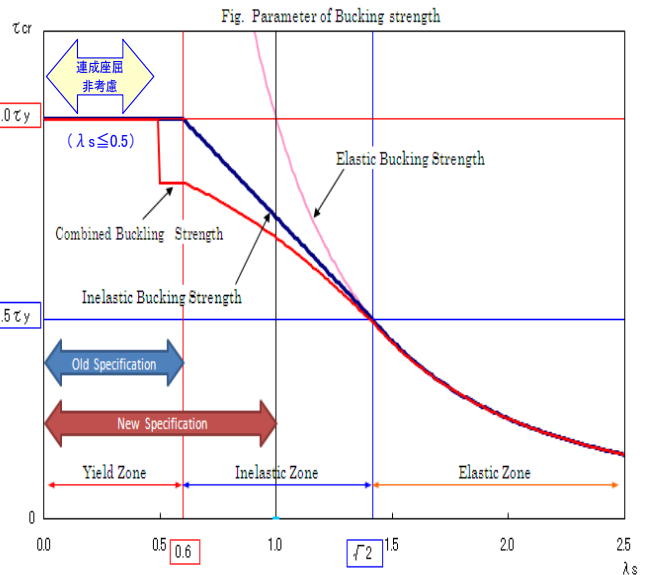


図-7 せん断座屈強度

せん断座屈パラメータ λ_s と強度の関係を図-7 に示す。

また、全体座屈強度の評価式における波形鋼板ウェブ上下端での拘束度に関する係数 β は、基本設計では固定支持の 1.9 とされていたが、「設計要領第二集」⁴⁾ に従い自由支持の 1.0 として照査を行った。

C707 工区 UNIT3 での波形鋼板ウェブの検討結果を図-8 に示す。検討の結果、基本設計に比べて鋼板厚が一部増加したが、これは上記の係数 β の変更と 5.4 に述べる定着突起死荷重の増加によるものである。

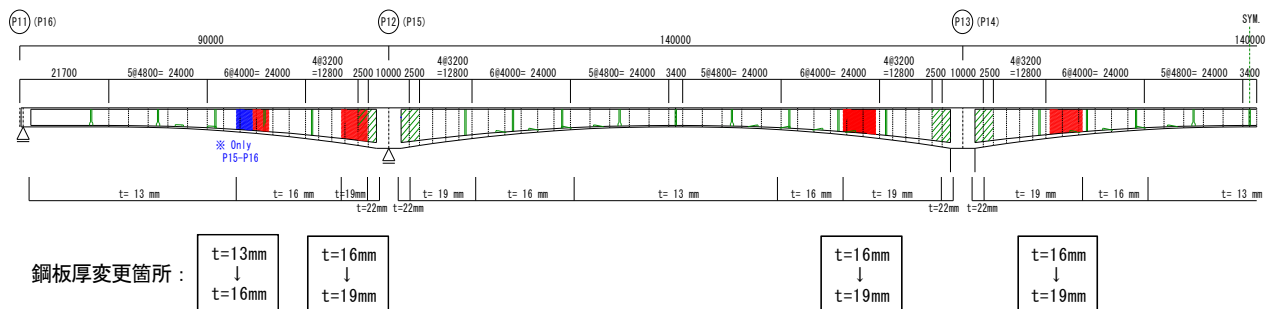


図-8 波形鋼板ウェブせん断検討結果 (C707 工区 UNIT3)

5.4 定着突起に対する検討

本橋の PC 鋼材配置は、架設ケーブルが内ケーブル 19S15.2、二次ケーブルが内ケーブル 19S15.2 および外ケーブル 19S15.2 となっている。このうち二次ケーブルは、内ケーブル・外ケーブルともに下床版に定着突起で定着されているため、FEM 解析により安全性の検討を行った。引張応力度の制限値は、「公路橋梁設計規範」¹⁾に示されるコンクリートの割裂強度 (4.0 N/mm²) とした。以下に外ケーブル定着突起に対する検討結果を示す。

変更前の定着突起形状を図-9、変更後の形状を図-10に示す。また、変更前の解析結果を図-11、変更後の結果を図-12に示す。解析の結果、基本設計の形状では、定着圧力により発生する引張応力度が制限値を大きく超えることが分かった。そこで、突起上面の引張応力を低減するために突起寸法の変更を行い、定着背面の引張応力を低減するために裏打ちコンクリートを設置した。

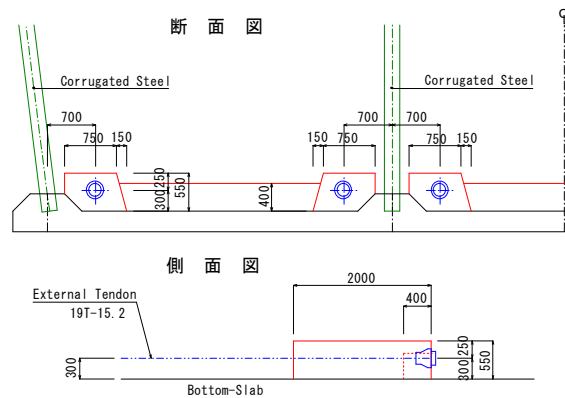


図-9 外ケーブル定着突起形状 (変更前)

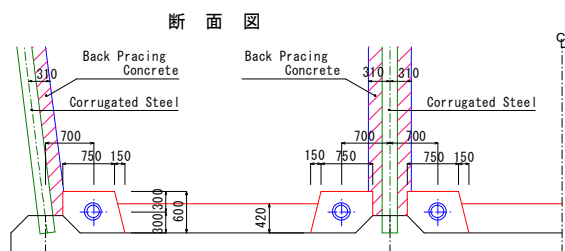


図-10 外ケーブル定着突起形状 (変更後)

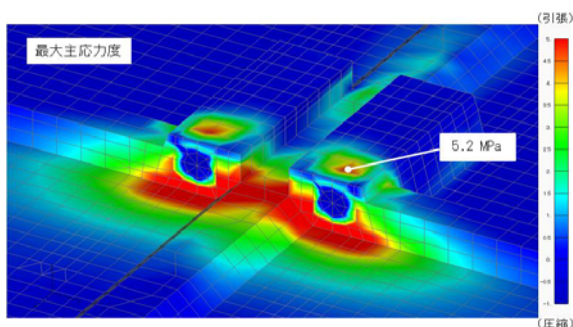


図-11 FEM 解析結果 (変更前)

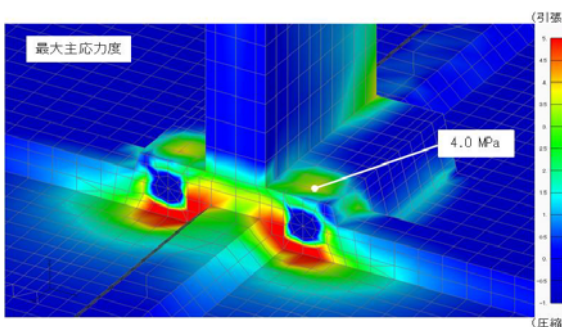


図-12 FEM 解析結果 (変更後)

6. おわりに

本工事は、本線高架橋およびランプ橋の上下部構造物、高架橋下の土工事・道路整備などを含む大規模な工事である。現在は、2011年の完成に向けて、本報告の2橋を含む工事区間全体にわたり施工が進んでいる。

本報告の2橋については、それぞれ2橋脚の張出施工と残る柱頭部の施工中である(写真-1)。施工の詳細については来年報告する予定である。

最後に、本橋の設計にあたり、ご指導・ご協力いただいた関係各位の皆様に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 台湾交通部：公路橋梁設計規範，2001
- 2) AASHTO：STANDARD SPECIFICATIONS for HIGHWAY BRIDGES 16th Edition, 1996
- 3) AASHTO：GUIDE SPECIFICATIONS for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges 2nd Edition, 1999
- 4) 東日本高速道路株式会社ほか：設計要領第二集 橋梁建設編，平成18年4月
- 5) (社)プレストレストコンクリート技術協会：複合橋設計施工基準，技報堂出版，2005



写真-1 施工状況 (C707 工区 UNIT3)