

広幅員に対応した波形鋼板ウエブ箱桁橋の設計 ～第二東名 中一色川橋(下り線)～

オリエンタル建設(株) 正会員 ○西澤 健太郎
 日本道路公団 静岡建設局 正会員 青木 圭一
 オリエンタル建設(株) 正会員 佐藤 成禎
 日本高圧コンクリート(株) 正会員 西村 力哉

1. はじめに

第二東名高速道路の中一色川橋(下り線)は、静岡県静岡市(旧清水市)に位置する橋長 573.4m, 最大支間長 112.0m を有する 6 径間連続波形鋼板ウエブ箱桁橋である。本橋は、有効幅員 16.5m の主桁を 1 室箱桁で設計した初めての波形鋼板ウエブ橋である。そのため、本橋の床版支間は 10m 近くにも及ぶこととなり、コンクリート床版と波形鋼板ウエブの接合部に過大な曲げモーメントが発生する。これにより、従来の実績のある波高 220mm タイプの波形鋼板形状を用いた場合、フランジと波形鋼板の溶接部の横剛性を十分に確保することが出来ず、溶接脚長が波形鋼板の板厚以上となる問題を引き起こした。このようなことから、本橋では、過去に実績のない波高 330mm タイプの波形鋼板ウエブを採用し、接合部の横剛性を向上させて波形鋼板とフランジの溶接脚長が波形鋼板の板厚以下となるように設計を行なった。なお、本橋は一部に拡幅区間を有しており、この拡幅区間に関しては 2 室箱桁断面を採用している。

本稿では、過去に実績のない波高 330mm タイプの波形鋼板ウエブを採用するにあたり、従来の波高 220mm タイプと比較検討を行なった結果や、座屈強度確認のために行なった複合非線形解析を中心にその概要報告を行なうものである。

2. 橋梁概要

中一色川橋の橋梁概要および主要材料を以下に示し、全体一般図および主桁断面図を図-1 に示す。

・橋梁概要

構造形式：6 径間連続波形鋼板ウエブ箱桁橋
 橋長：573.400m
 桁長：572.400m
 支間：62.800m+3@112.000m+110.500m+61.300m
 平面線形：緩和区間(S字曲線, R=4000m, 3700m)
 縦断線形：2.0%
 有効幅員：16.5m ～ 20.0m
 斜角：90°
 活荷重：B 活荷重
 衝撃係数：PC 橋と同等
 施工方法：張出し架設工法
 発注者：日本道路公団静岡建設局
 施工者：オリエンタル建設・日本高圧コンクリート
 特定建設工事共同企業体

・主要材料

コンクリート：40N/mm²
 鉄筋：SD345
 内ケーブル：12S15.2(SWPR7BL)
 外ケーブル：19S15.2(SWPR7BL)
 横締め鋼材：1S28.6(SWPR19L)
 波形鋼板：SM490YA-7C
 (t=12～16mm)

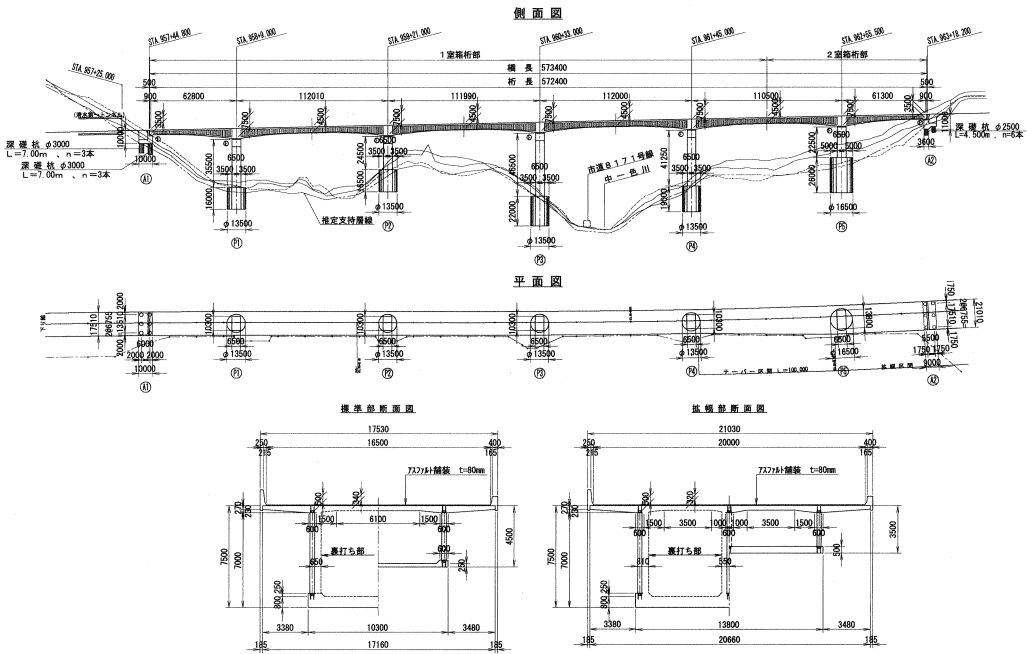


図-1 一般図

3. 波形鋼板ウェブの設計

3. 1 せん断力に対する検討

波形鋼板ウェブ橋の場合、主桁に作用するせん断力に対しては、波形鋼板だけではなくコンクリート床版も一部分担するが、波形鋼板のみでせん断力を受け持つものとして設計を行なうのが一般的である。本橋においても、波形鋼板が全てのせん断力を負担するとして、設計荷重時、終局荷重時（局部座屈、全体座屈、連成座屈）の照査を各々行ない、ウェブの板厚を決定した。この結果、作用せん断力およびねじりモーメントによるせん断応力度を考慮して決定した本橋のウェブの材質および板厚は、SM490Y を使用して 12~16mm となった。

3. 2 波形鋼板とフランジ溶接部の設計

コンクリート床版と波形鋼板ウェブとの接合には、アングルジベル方式を採用した。このため、波形鋼板にはフランジプレートを溶接することになるが、そのすみ肉の溶接脚長は接合部に発生する水平せん断力ならびに横方向曲げモーメント（首振りモーメント）によって決定される。本橋では、床版支間が10m 近くにもなることから、溶接脚長の決定には、首振りモーメントが支配的となっている。この場合、図-2 に示すような、これまでの波形鋼板ウェブ橋で多く採用されている 220mm タイプの波形状を用いると、このすみ肉溶接脚長が 20mm を超える断面が生じた。これまでの実績および施工上の問題から、すみ肉の溶接脚長は 15mm 程度が限界とされており、従来の波形状では要求性能を満足しない結果となった。

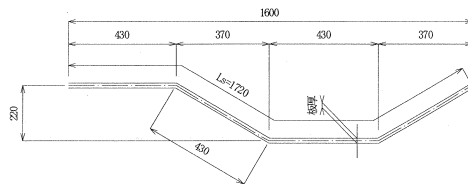


図-2 実績のある波形状 (単位:mm)

このようなことから、本橋では、接合部の横方向剛性を向上させることを目的に図-3に示すような、波高を330mmとしたタイプの波形鋼板を採用した。この330mmタイプと従来タイプとの溶接部の剛性を比較したものを表-1に示す。これによると、同じ溶接脚長でも330mmタイプは従来タイプと比較して、断面剛性を2倍以上確保することができる。この結果、波形鋼板とフランジプレートの溶接脚長は最大でも12mmに収めることが可能となった。

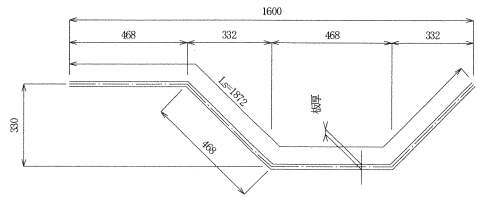


図-3 採用した波形状 (単位:mm)

なお、本橋は床版支間が10m近くにも及ぶことから、FEM解析によって横方向の活荷重断面力を算出した。このFEM解析は、日本道路公団静岡建設局内で施工された、鋼少数桁にPC床版を使用した藁科川橋などを対象とした検討結果¹⁾を参考にして行ない、1室、2室箱桁の床版支間と横方向の発生曲げモーメントの関係は図-4のように表すことができた。この結果を平面骨組み解析に反映させて接合部に発生する曲げモーメントを算出した。

表-1 溶接部剛性の比較 (1波長あたり)

	unit	①220mmタイプ		②330mmタイプ		比率(②/①)	
板厚 t	mm	12mm	16mm	12mm	16mm	12mm	16mm
溶接脚長 s	mm	9mm	12mm	9mm	12mm	9mm	12mm
溶接断面積 A	m ²	2.099E-02	2.757E-02	2.195E-02	2.886E-02	1.05	1.05
断面2次M I	m ⁴	1.637E-04	2.140E-04	3.774E-04	4.924E-04	2.31	2.30
断面1次M W	m ³	1.338E-03	1.692E-03	2.128E-03	2.713E-03	1.59	1.60

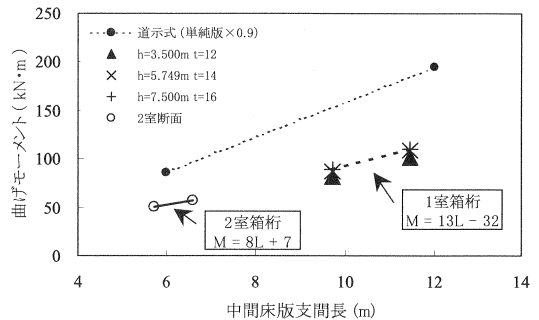


図-4 中間床版の設計曲げモーメント

3.3 非線形解析による座屈の検討

(1) 概要

先に示したように、本橋には過去に使用実績のない形状の波形鋼板ウェブを採用する。このため、有限要素法を用いた3次元複合非線形解析を行ない、非弾性域を考慮した座屈強度曲線に対する解析結果の適用性の検証、および局部座屈と全体座屈の連成を考慮した座屈強度に対する安全性の照査を行った。なお、解析には、汎用FEM非線形解析プログラムDIANAを使用した。

(2) 解析モデル

解析モデルは、波形鋼板ウェブおよび上下フランジから成る単純梁とし、単純梁のスパン中央位置におけるY-Z平面(Y:ウェブ厚方向、Z:鉛直方向)に対して対称な条件を考慮した1/2モデルとした。表-2に解析諸元を示す。解析は、使用するウェブの最小厚と最大厚である12mm、16mmの2ケースについて行なった。

表-2 解析諸元

	CASE1	CASE2	形状
パネル幅 (mm)	a	468	
水平長 (mm)	b	332	
斜長 (mm)	c	468	
波高 (mm)	d	330	
波板実長 (mm)	L _s	1872	
波板水平長 (mm)	q	1600	
ウェブ厚 (mm)	t _w	12 16	
ウェブ高 (mm)	h	3600 6000	
スパン (mm)	L	12000 20000	
L / h		3.33 3.33	
フランジ幅 (mm)	430	430	
リップ幅 (mm)	430	430	

解析モデルのスパンは、波形鋼板ウェブのせん断耐力に関する既往の実験²⁾を参考に、スパン桁高比L/hが3.5程度となるように設定し、支点および載荷点位置は、波形ウェブの橋軸直角方向中心位置を通るパネル上とした。また、せん断スパン内で波形鋼板ウェブの座屈が生じるように、解析モデルには支点および載荷点に補剛リップを設けた。

(3) 解析結果

図-5, 6にCASE1の強制変位載荷点における荷重-鉛直変位関係と最大荷重後の面外変形状況を示す。図中にはせん断降伏耐力P_sを併記する。このせん断降伏耐力P_sは、せん断応力が鉛直方向(Z方向)およびウ

ウェブ厚方向(Y 方向)に一定とし、最大荷重時にせん断スパン内の波形鋼板ウェブがせん断降伏する状態と仮定した場合の理論値である。図-5の荷重-鉛直変位関係において、STEP16で最大荷重 P_{max} を迎え、STEP17において荷重低下した後、STEP18で解の収束性が保たれなくなり解析を終了した。図-6に示す最大荷重後の変形状況から、波形鋼板ウェブが面外正負方向(黒丸部)に大きくはらみ出していることがわかる。せん断降伏耐力 P_s と最大荷重 P_{max} の比(P_{max}/P_s)は0.99となり、概ね一致する結果が再現された。また、CASE2 についてもほぼCASE1と同様の結果を得られた。これらの解析結果を、連成座屈を考慮したせん断座屈強度算定式³⁾から算出した強度曲線にプロットしたものを図-7に示す。図中の縦軸、横軸はそれぞれ局部座屈、全体座屈に対する波形鋼板の座屈強度比を示している。これによると、CASE1, 2の座屈強度は、共に連成座屈を考慮した強度曲線の外側にあることから、安全側の値を示していることがわかる。よって、本橋で採用した波高330mmの波形鋼板ウェブは、非弾性域を考慮した座屈強度曲線に比べ同等あるいは若干小さい値を示すものの、局部座屈と全体座屈との連成を考慮した連成座屈に対して十分な座屈強度を有しており、せん断座屈に対する安全性が確認できたと言える。

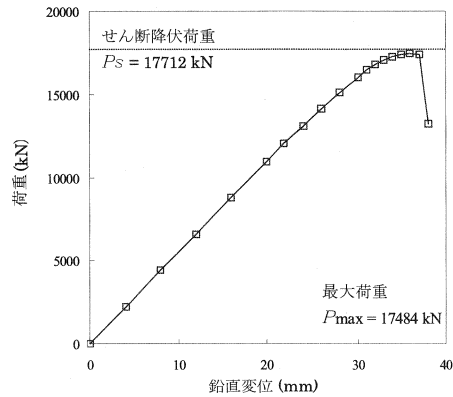


図-5 荷重～鉛直変位関係

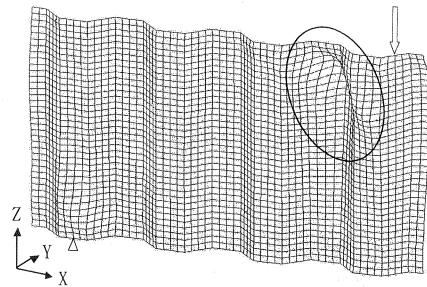


図-6 最大荷重後の面外変形

4. おわりに

今回、幅員16.5mを有する中一色川橋を1室箱桁の波形鋼板ウェブ橋として設計を行ない、これまでの実績にない330mmタイプの波形状を有する波形鋼板ウェブを採用することとなった。これは本稿でも示したように、フランジとの接合部の横方向剛性を向上させることを目的としているが、波高を大きくしたことでウェブの全体座屈強度の向上に繋がる。このことは、桁高の高い柱頭部付近などにおいて、鋼材の強度を有効に使用できることから、更に桁高の高い断面への対応＝長支間化へと対応できるものと思われる。

最後に本橋の設計にあたり、ご協力いただいた関係各位の皆様には紙面をお借りして深く感謝するとともに、本稿が同様な橋梁を設計する際の参考になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 本間・河西・林・松村：長支間場所打ちPC床版(藁科川橋)のFEM解析に基づく設計曲げモーメント, 土木学会第55回年次学術講演会, 共通セッション, CS-278, 2000.9
- 2) 角谷・青木・富本・狩野：波形鋼板ウェブのせん断耐力評価, プレストレストコンクリート, Vol. 43, No. 1, 2001.1.
- 3) 山口(恒)・山口(隆)・池田：波形鋼板をウェブに用いた複合プレストレストコンクリート桁の力学的挙動に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol. 8, No. 1, 1997.1.

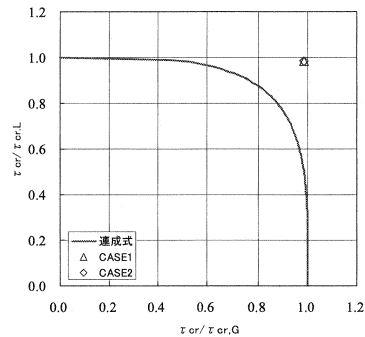


図-7 連成座屈強度と解析結果