

(10) 本谷橋(波形鋼板ウエブPC変断面箱桁橋)のたわみに関する検討

日本道路公団 名古屋建設局 正会員 水口和之
 日本道路公団 名古屋建設局 正会員 芦塚憲一郎
 (株)ピー・エス 土木技術部 正会員 佐藤幸一
 (株)ピー・エス 土木技術部 正会員 ○桜田道博

1. はじめに

本谷橋はウエブに波形鋼板を使用した複合 PC 箱桁橋(以降、波形鋼板ウエブ PC 橋と呼ぶ)で、この形式の橋梁としては世界最大支間であり、国内で初めてキャンチレバー工法により架設された橋梁である(図-1)。そのため実橋の施工前に模型供試体による載荷実験を行い、その結果、波形鋼板ウエブ PC 箱桁のたわみはせん断変形を考慮した設計値とよく一致することが判明した。しかしながら、実橋の施工中および実橋載荷実験におけるたわみは、せん断変形を考慮しない設計値とほぼ一致した。これは、実橋の桁高変化により断面に作用するせん断力が低減したこと、およびコンクリート床版がせん断力を負担したことよりウエブに作用するせん断力が減少し、せん断変形量が小さくなったためと考えられる。これらを確認するため、実橋載荷実験と同じ条件で本谷橋中央径間全体をモデルとした立体 FEM 解析を行い、波形鋼板ウエブに実際に作用するせん断力およびコンクリート床版が負担するせん断力を算出し、たわみ(せん断変形量)の検討を行った。また、たわみを正確に算出することは上越し管理、等において重要であることから、桁高変化がある場合でも通常の平面骨組解析でせん断変形量を計算する方法も併せて検討した。

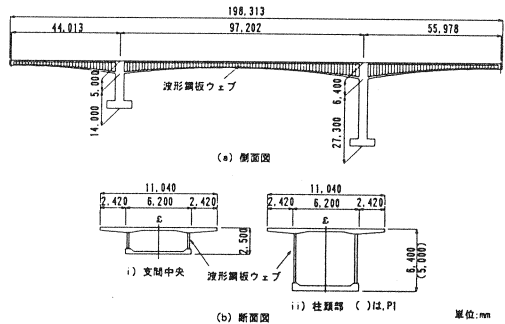


図-1 本谷橋一般図

2. 実橋載荷実験および FEM 解析の概要

(1) 実橋載荷実験

実橋載荷実験における荷重載荷位置および検討断面位置を図-2 に示す。実橋載荷実験は A-A 断面付近に重量を 25tf に調整したダンプトラックを 6 台載荷して行った。検討断面は A-A 断面(中央径間閉合部)、B-B 断面(せん断検討位置)、C-C 断面(橋脚前面位置)および D-D 断面で、床版の軸方向応力度、ウエブのせん断応力度、およびたわみの測定を行った。各検討断面の応力度はひずみゲージにより求め、たわみは測点 1 ~ 測点 5 の高さを測定して求めた。

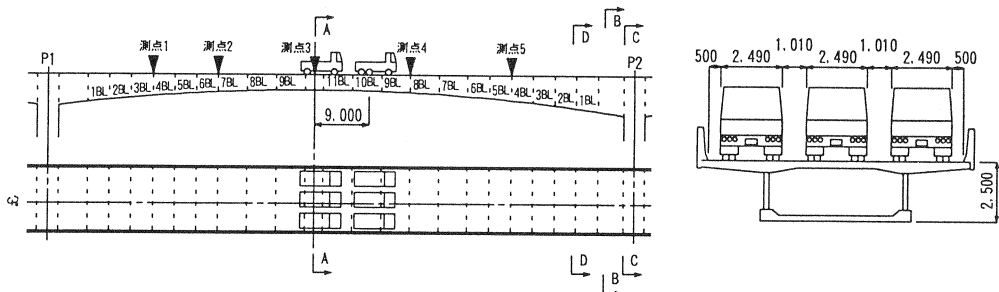


図-2 荷重載荷位置および検討断面

(2) FEM 解析

本谷橋中央径間の FEM 解析モデルを図-3 に示す。解析モデルは基本的にシェル要素としたが、シェル要素では床版が負担するせん断力(面外方向のせん断力)を算出できないため、検討断面付近のコンクリート床版はソリッド要素とした。なお、床版にシェル要素とソリッド要素とを併用することの妥当性は、別途解析を行って確認した。荷重は実橋載荷実験におけるダンプトラックの車輪位置に輪荷重を集中荷重として載荷した。解析モデル端部(橋脚前面位置)の境界条件は完全固定とした。

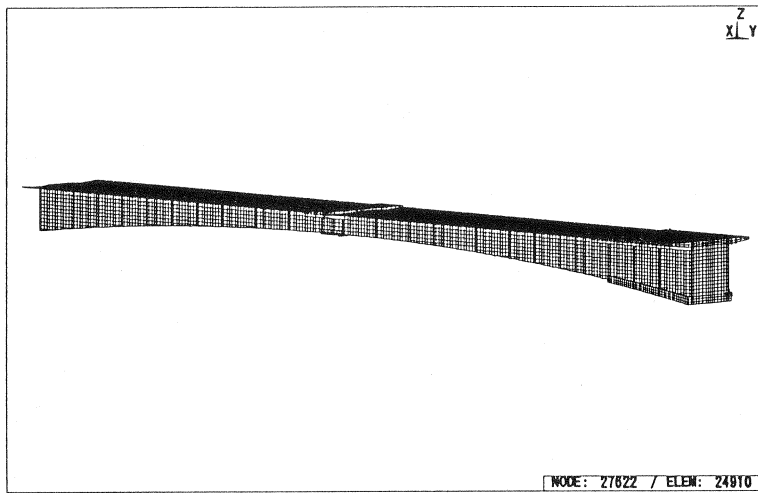


図-3 解析モデル

3. FEM 解析結果

(1) 実橋載荷実験と FEM 解析結果の比較

実橋載荷実験および FEM 解析の結果を図-4～図-6 に示す。たわみ、コンクリート床版の軸方向応力度、および波形鋼板ウエブのせん断応力度の FEM 解析値は、平面骨組解析から算出した解析値および載荷実験における実測値とほぼ一致している。このことから、今回行った FEM 解析はほぼ妥当なものであることがわかる。

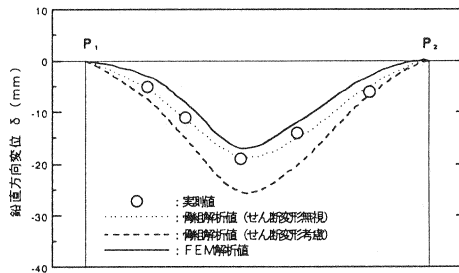
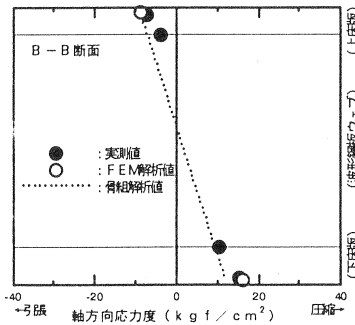
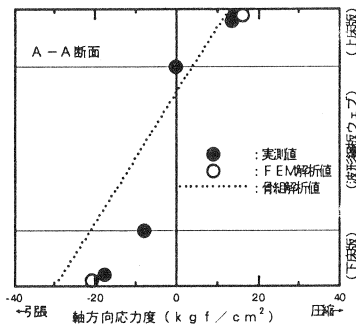


図-4 中央径間のたわみ



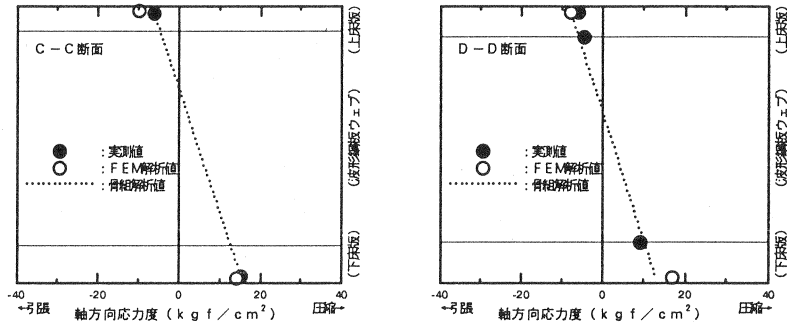


図-5 コンクリート床版の軸方向応力度

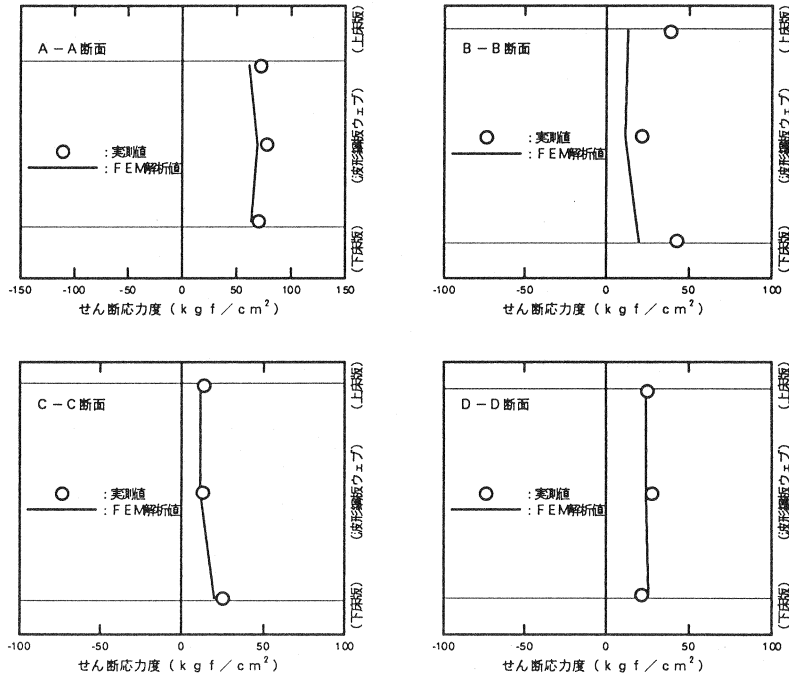


図-6 波形鋼板ウェブのせん断応力度

(2) ウェブおよび床版が負担するせん断力

FEM 解析により算出したウェブおよび上・下床版が負担するせん断力を表-1 に示す。各部材が負担するせん断力は、FEM 解析で算出された各要素のせん断応力度に断面積を掛けて集計したものである。設計ではせん断変形量の計算は、ウェブが作用せん断力のすべてを負担するとして行っているが、実際にウェブが負担するせん断力は全せん断力の 15~45%程度となっている。特に桁高変化がある断面では、ウェブが負担するせん断力はわずかで、下床版が負担するせん断力が大きくなっている。下床版が負担するせん断力が大きいのは、桁高変化に伴うせん断力の低減量(下床版軸力の鉛直方向成分)がこれに含まれるためと考えられる。実橋におけるたわみがせん断変形を考慮した設計値を大きく下回ったのは、桁高変化による作用せん断力の低減量を考慮しなかったこと、およびウェブが負担するせん断力を実際より大きく評価したため

であることがわかる。

表-1 各部材が負担するせん断力^{注1)}

	A-A	B-B	C-C	D-D
	せん断力 (tf)	せん断力 (tf)	せん断力 (tf)	せん断力 (tf)
上床版	-16.3 (42)	0.9 (1)	4.1 (5)	2.2 (3)
ウェブ	-17.3 (45)	14.2 (17)	13.8 (16)	23.6 (28)
下床版	-5.0 (13)	69.3 (82)	66.2 (79)	58.6 (69)
合計	-38.6 (100)	84.4 (100)	84.0 (100)	84.3 (100)

注1) ()は、全せん断力に占める割合(%)

桁高変化に伴うせん断力の低減量を表-2 に、桁高変化の影響を考慮した場合の各部材が負担するせん断力を表-3 示す。表-2 の値は平面骨組解析により断面力を算出し、道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編に準じて求めた。表-3 の値は表-1 の下床版が負担するせん断力から表-2 の桁高変化に伴うせん断力の低減量を除いたものである。桁高変化の影響を考慮した場合、A-A 断面を除き、ウェブが負担するせん断力は60~70%程度となり、本谷橋におけるウェブと床版のせん断力の負担割合は6:4~7:3程度であることがわかる。A-A断面においてウェブが負担するせん断力が他と比べて小さいのは、載荷点直下であるためと思われる。

表-2 桁高変化に伴うせん断力の低減量

		A-A	B-B	C-C	D-D	
曲げモーメント	M ^{注1)}	tf・m	996.3	-2174.4	-2433.4	-1749.7
せん断力	S ^{注1)}	tf	-40.9	80.9	80.9	80.9
桁高変化に伴うせん断力の低減量	S ^{注2)}	tf	0.0	-59.1	-64.0	-47.2

注1) 平面骨組解析により算出、2) 道路橋示方書Ⅲに準じて算出(S=M/d×tanβ)

表-3 桁高変化の影響を考慮した各部材のせん断力^{注1)}

	A-A	B-B	C-C	D-D
	せん断力 (tf)	せん断力 (tf)	せん断力 (tf)	せん断力 (tf)
上床版	-16.3 (42)	0.9 (4)	4.1 (20)	2.2 (6)
ウェブ	-17.3 (45)	14.2 (56)	13.8 (69)	23.6 (64)
下床版	-5.0 (13)	10.2 (40)	2.2 (11)	11.3 (31)
合計	-38.6 (100)	25.3 (100)	20.0 (100)	37.1 (100)

注1) ()は、全せん断力に占める割合(%)

4. せん断変形量の算出方法の検討

桁高変化の影響、および床版が負担するせん断力を考慮して平面骨組解析によりせん断変形量を算出する方法を検討する。せん断変形量の計算は以下の式で行った。

$$\delta_s = \frac{\kappa}{G \cdot A_s} \int S \cdot \bar{S} \cdot dx$$

κ：せん断修正係数、G：せん断弾性係数、A_s：せん断抵抗断面積、

S：作用せん断力、 \bar{S} ：単位荷重による仮想せん断力

平面骨組解析により求めた実橋載荷実験時の本谷橋中央径間のせん断力を図-7 に示す。(a)は桁高変化の影響を無視したせん断力、(b)は道路橋示方書Ⅲに準じて桁高変化を考慮したせん断力、(c)は前述の FEM 解析の結果からウェブが負担するせん断力を(b)の60%としたせん断力である。作用せん断力を(a)、(b)および(c)として算出したせん断変形量を表-4 に示す。

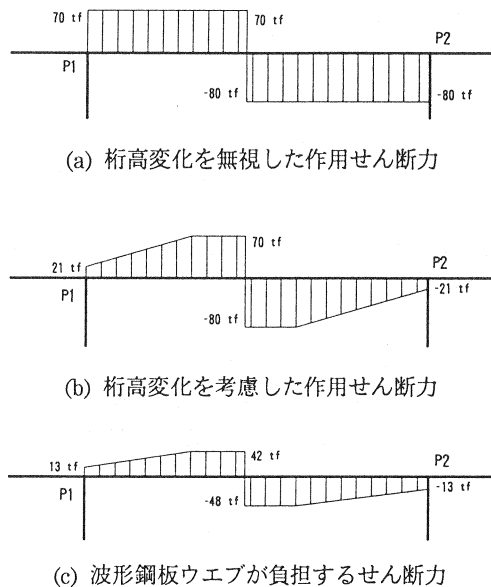


図-7 実橋載荷実験時における本谷橋中央径間のせん断力

表-4 せん断変形量 (mm)

	測点1	測点2	測点3	測点4	測点5
(a)によるせん断変形量	1.9	3.6	6.9	5.0	1.7
(b)によるせん断変形量	0.8	2.3	4.8	3.3	0.8
(c)によるせん断変形量	0.5	1.4	2.9	2.0	0.5

ウェブが負担するせん断力を(a)として算出したせん断変形量と、(c)として算出したせん断変形量には大きな差があることがわかる。ウェブが負担するせん断力を(c)として算出したたわみを表-5に示す。算出したたわみは、実橋載荷実験における実測値およびFEM解析値とほぼ一致しており、桁高変化の影響、および床版が負担するせん断力を適切に考慮することにより、平面骨組解析でも変断面の波形鋼板ウェブPC橋のたわみをほぼ正確に算出できることがわかる。

表-5 平面骨組解析により算出したたわみ (mm)

		測点1	測点2	測点3	測点4	測点5
骨組解析値	曲げたわみ	5.5	11.3	18.6	15.2	5.0
	せん断変形量	0.5	1.4	2.9	2.0	0.5
	たわみ	6.0	12.7	21.5	17.2	5.5
実測値		6.0	11.0	19.0	14.0	6.0
FEM解析値		3.0	8.0	17.0	12.0	3.0

5. まとめ

(1) 本谷橋ではせん断変形量の設計はウェブが作用せん断力のすべてを負担するとして行ったが、FEM解析(表-1)より、ウェブが負担するせん断力は設計で考慮した値を大きく下回ることがわかった。実橋のたわみがせん断変形を考慮した設計値より小さくなったのは、ウェブが負担するせん断力を実際より大きく評価したためと考えられる。

- (2) 実橋においてウェブが負担するせん断力が小さくなったのは、桁高変化により作用せん断力が低減したこと、および床版がせん断力の一部を負担したためである。
- (3) ウェブと床版のせん断力の負担割合は6:4~7:3であり、ウェブが負担するせん断力は作用せん断力の60~70%である。
- (4) 桁高変化の影響を道路橋示方書に準じて考慮し、ウェブが負担するせん断力を作用せん断力の60%として平面骨組解析により算出したたわみは実測値とほぼ一致した。
- (5) 桁高変化を有する波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋のたわみは、桁高変化の影響および床版が負担するせん断力を適切に考慮することにより算出することができる。

本谷橋をモデルとした今回の解析から、たわみ(せん断変形量)の設計では床版が負担するせん断力、および桁高変化の影響を考慮するのがよいと判明した。これらをウェブのせん断応力度の照査に反映させれば、さらに経済的な設計が可能であるが、床版が負担するせん断力は各橋梁により異なると思われる、現時点では本谷橋と同様に作用せん断力のすべてをウェブが負担するとして行うのが安全と思われる。より経済的な設計を行うため波形鋼板ウェブ PC 橋において床版が負担するせん断力を今後さらに検討する必要があると思われる。

謝辞

本谷橋の設計、施工、および一連の実験にあたりご指導およびご検討いただいた「東海北陸自動車道山岳部のコンクリート橋の新技术・新工法に関する検討委員会」(委員長：池田尚治横浜国立大学教授)の委員ならびに関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 加藤,谷口,依田,佐藤:本谷橋(波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋)の模型実験,第7回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集,1997.10
- 2) 水口,芦塚,古田,大浦,滝,加藤:本谷橋の設計と施工, 橋梁と基礎,Vol.32, No.9,1998,9
- 3) 水口,芦塚,依田,佐藤,桜田,日高:本谷橋の模型実験と実橋載荷実験,橋梁と基礎,Vol.32, No.10,1998,10
- 4) 芦塚,水口,桜田,日高:本谷橋(波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋)の実橋載荷実験,第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集,pp.13~18,1998.10
- 5) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編,1996.12