

曲線箱桁橋の水平補剛材省略構造に関する解析的研究

大阪市立大学大学院 学生会員 足立 淳一
大阪市立大学大学院 正 会 員 山口 隆司
JFE エンジニアリング (株) 非 会 員 高尾 道明

大阪市立大学大学院 学生会員 舟山 耕平
JFE エンジニアリング (株) 非 会 員 新井 進太郎

1. はじめに

曲線箱桁橋は、腹板に水平補剛材を溶接する場合、曲率の影響で工場での自動溶接ロボットが使用できず、手動溶接を行うため、直線箱桁橋に比べて製作コストが大きい。そのため、曲線箱桁橋において腹板の水平補剛材を省略した省補剛構造の提案が求められている。

腹板は、曲げ座屈が生じないように、水平補剛材が取り付けられており、フランジや補剛材によって区切られたパネルとして設計されている。しかし、部材や部位の終局は橋梁全体の終局であるとは限らない。多数の構造部材が荷重に対して相互に影響し合いながら、一つの構造系を成すように抵抗する構造システムとして挙動する¹⁾ことを活用し、水平補剛材の省略を目指す。

本研究では、曲線箱桁橋を対象に、終局耐力およびウェブの曲げ座屈耐力に及ぼす曲率の影響、および省補剛構造について FEM 解析を用いて検討を行う。

2. 対象橋梁および解析モデル

図-1 に対象橋梁の一般図を示す。対象橋梁は支間長 35m, 45m, 35m, 幅員 7.64m, 曲率半径 $R=40\text{m}$, $R=300\text{m}$ の鋼 3 径間連続合成箱桁橋である。図-2 に解析モデルを示す。モデル化範囲は負曲げおよびせん断が卓越する中間支点部とした。主桁、ダイアフラム、補剛材はシェル要素で、ソールプレートは、ソリッド要素でモデル化している。使用鋼材は SM490Y とし、ヤング係数 $E=2.0\times10^5\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ として材料特性を用いた。構成則は完全弾塑性とし、幾何学的非線形を考慮した。

解析では、前死荷重（鋼重）をウェブ上端に等分布荷重で表し、前死荷重による断面力を解析モデル端部の図心位置に付与した。前死荷重および前死荷重による断面力は、弧長法で増加させ、荷重倍率 α を用いて表す。すなわち、前死荷重および前死荷重による断面力を D とすると、作用させる荷重は、 αD で表される。また、ソールプレート下端にピン支持となるように境界条件を与えている。

表-1 に解析ケースを示す。解析ケースは、R40, R300 キーワード 曲線箱桁橋、曲率、水平補剛材、終局耐力、曲げ座屈耐力

において、それぞれ道路橋示方書²⁾を基に設計されたモデルと中間支点部の水平補剛材を省略したモデルの 4 ケースである。図-3(a) に、省略した水平補剛材を示す。表-1 には、道路橋示方書²⁾に従って算出した R40, R300 における中間支点部のウェブ内側、外側のパネル（図-3(b), (c)）の幅厚比パラメータおよび曲げ座屈耐力を示している。また、表には各解析ケースが、道路橋示方書で規定される鋼桁の最小腹板厚の規定を満たしているかも示している。

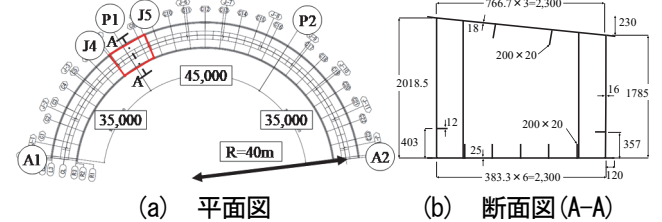


図-1 対象橋梁一般図 (R40) (単位 : mm)

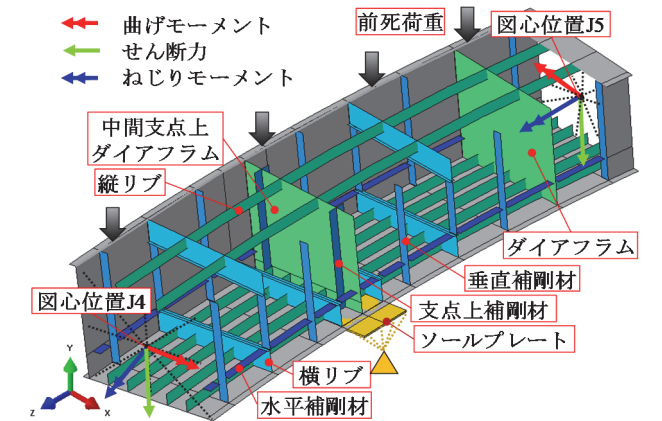


図-2 解析モデル (R40)

表-1 解析ケース

	Analytical case	Remarks	Inside web		Outside web		最小腹板厚規定 ²⁾
			R_w	σ_w/σ_y	R_w	σ_w/σ_y	
R40	Original	道路橋示方書を基に設計	0.44	1.00	0.50	1.00	○
	O_HS	中間支点部の水平補剛材省略	1.00	0.50	1.13	0.39	×
R300	Original	道路橋示方書を基に設計	0.54	1.00	0.56	1.00	○
	O_HS	中間支点部の水平補剛材省略	1.21	0.34	1.26	0.32	×

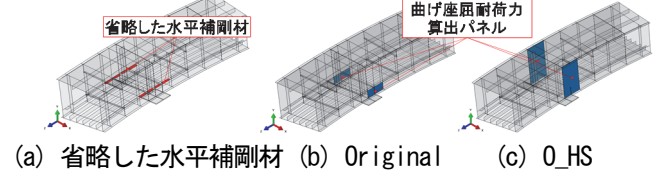


図-3 省略した水平補剛材と曲げ座屈耐力算出パネル

3. 解析結果と考察

(1) 座屈プロセス

図-4に荷重倍率 α とJ5図心位置鉛直変位との関係を示す。図中に示す α_1 , α_2 , α_{max} は、各部材が座屈時の荷重倍率を示している。図-5に座屈した部材の終局時の面外変位コンターを示す。表-2に各解析ケースにおける各部材の座屈プロセスおよび座屈モードを示す。座屈プロセスは、コンター図および板の橋軸方向の表裏のひずみから判定した。表より、全解析ケースともにウェブの曲げ座屈あるいはせん断座屈が先行し、下フランジの補剛板としての全体座屈により終局耐力に至る。また、先行するウェブの曲げ座屈あるいはせん断座屈時、下フランジは座屈していない。一方、下フランジの補剛板が全体座屈時は、ウェブの曲げ座屈あるいはせん断座屈による面外変位が大きくなる。

表-1よりR40, R300ともに、水平補剛材省略により、道路橋示方書²⁾によるパネルの曲げ座屈耐力は約50~60%低下する。しかし、表-2より解析による終局耐力および曲げ座屈耐力は、それぞれ最大でも約3%, 約5%低下するのみである。すなわち、道路橋示方書²⁾ではパネルとして独立して設計されているが、ウェブが曲げ座屈した場合でも、終局耐力は圧縮フランジの座屈により決定され、圧縮フランジが座屈しない限り、構造システムとしての終局耐力は低下しない。また、水平補剛材を省略した場合でも同様であり、終局耐力に対する曲げ座屈の影響は小さい。一方、水平補剛材を省略するとウェブパネルのせん断座屈耐力は小さくなり、せん断座屈の影響が大きくなる。しかし、ウェブパネルがせん断座屈すると斜張力場が形成され、フランジに塑性ヒンジが形成され、全断面が降伏するまで終局耐力は低下しない。

したがって、水平補剛材省略構造を可能とするには、圧縮フランジ座屈時に、ウェブのせん断座屈が進行したとしても、その終局耐力に達していないことが必要である。

(2) 曲率の影響

表-2より、R40, R300のオリジナルモデルの終局耐力および曲げ座屈耐力を比較すると、終局耐力はR300の方が小さく、曲げ座屈耐力はR40の方が小さい。しかし、いずれも約2%のみである。すなわち、終局耐力および曲げ座屈耐力は、曲率の影響をほとんど受けないと考えられる。

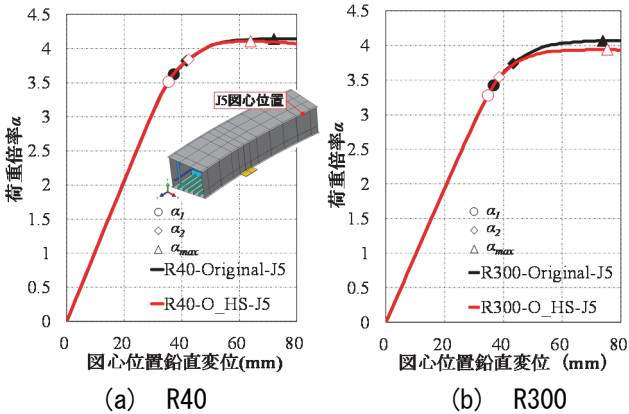


図-4 荷重倍率とJ5図心位置鉛直変位との関係

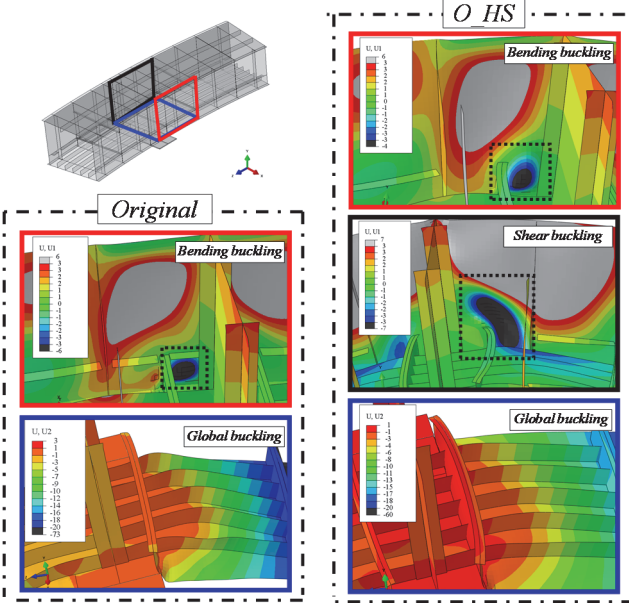


図-5 終局耐力時の面外変位コンター (R40, 単位: mm)

表-2 座屈プロセス

Analytical case		Buckling Process					
		Buckling Mode	α_1	Buckling Mode	α_2	Buckling Mode	α_{max}
R40	Original	ウェブ内側 (曲げ座屈)	3.63	ウェブ外側 (曲げ座屈)	3.82	補剛板 (全体座屈)	4.14
	O_HS	ウェブ内側 (曲げ座屈)	3.52	ウェブ外側 (せん断座屈)	3.84	補剛板 (全体座屈)	4.11
R300	Original	ウェブ内, 外 (せん断座屈)	3.43	ウェブ内, 外 (曲げ座屈)	3.70	補剛板 (全体座屈)	4.07
	O_HS	ウェブ内, 外 (せん断座屈)	3.35	ウェブ内, 外 (曲げ座屈)	3.54	補剛板 (全体座屈)	3.94

4. まとめ

得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 曲率半径40m,300mの道路橋示方書²⁾を基に設計された曲線箱桁橋の終局耐力および曲げ座屈耐力に及ぼす曲率の影響は小さいと考えられる。
- (2) 水平補剛材省略構造を可能とするには、圧縮フランジ座屈時に、ウェブのせん断座屈が進行したとしてもその終局耐力に達していないことが必要である。

参考文献

1) Ghosn, Michel., Moses, Fred. : Redundancy in Highway Bridge Superstructures, NCHRP Report 406 (National Cooperative Highway Research Program), National Academic Press, Washington, D.C., 1998
2) 公益社団法人日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 2012.3.