

正、負曲げを受ける合成桁の終局強度特性に関する実験的研究

建設構造研究室 林 裕也
指導教官 長井正嗣

1. はじめに

近年、建設コスト縮減の観点から、鋼系橋梁では、2主I桁橋に代表される「合理化桁」と呼ばれる極めてシンプルな構造形式の橋を開発したが、更なるコスト縮減要求に対し、これ以上のシンプル化は困難を極める。その解決策として、塑性域を考慮した設計法（限界状態設計法）を合成桁に適用することが考えられる。限界状態設計法を合成桁に適用した場合、終局強度として降伏モーメントの約1.5倍である塑性モーメントを利用でき、より一層のコストダウンを見込むことが出来る手法と言える。

本研究室では、合成桁に限界状態設計法を導入するため、実験的検討および解析的検討などを行っている。2005年度には曲げ耐力評価、Ductility条件の検討、前年度にはせん断耐力評価、曲げとせん断の相関強度評価について実験的検討を行っている。

さて、既往の研究では主に塑性中立軸が鋼桁内にある場合を対象としてきたが、最近建設されている少数主桁橋では、塑性中立軸が床版内にある場合がほとんどで、この場合、スタッド近傍のコンクリートには引張ひび割れ状態が想定され、終局時でもスタッドが有効に機能しているのか、あるいはひび割れに起因して塑性モーメントに達しない危険も生じる。また、連続合成桁の中間支点上では、「鋼桁+鉄筋」断面によって強度を算出するが、ひび割れたコンクリートの引張剛性が終局強度に影響している可能性もある。以上の終局状態における強度評価と、前年度に引き続き、相関強度評価について実験的検討を行い、各種終局強度特性を明らかにすることを本研究の目的とする。

ここで、本研究では模型桁の製作にあたり、独自の設計法によってスタッド本数を決定している。このことがコンクリートと鋼桁の合成効果および終局

強度に与える影響についても、あわせ考察を加える。

2. 実験概要

本実験において、正の曲げモーメント(正曲げ)ケースでは、塑性中立軸が床版内となるように断面を決定し、スパンを変化させた計4ケースの模型桁を製作した。また、負の曲げモーメント(負曲げ)ケースにおいては「鋼桁+鉄筋」断面で設計を行い、計3ケースを製作した。さらに両者におけるスタッド本数は、使用限界状態に対して(1)式、終局限界状態に対しては(2)式によって決定している。

$$V_s = V_{std} / 2.0 \quad (1)$$

$$V_u = V_{std} \quad (2)$$

ここで、 V_{std} はスタッド1本あたりの強度である。図-1に模型桁の概要、表-1に材料強度、表-2に各ケースのスパンと曲げせん断比を示す。

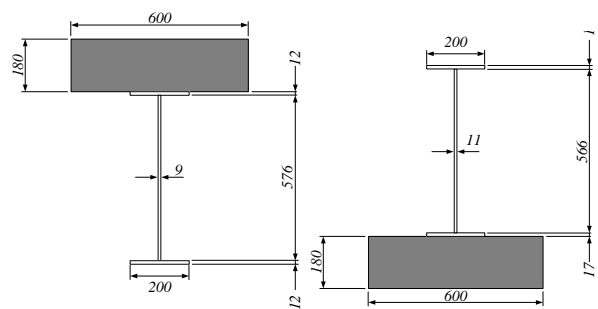


図-1 模型桁

表-1 材料強度(MPa)

	σ_{ck}	U.Flг	Web	L..Flг	RB
正曲げ ³⁾	55.5	298	318	298	363
負曲げ ³⁾	56.5	354			363

表 - 2 各ケースのスパンおよび曲げせん断比

模型桁	支間(mm)	曲げせん断比	
		Mu/Mp	Qu/Qp
正曲げ Case-1	4,000	1.02	0.70
正曲げ Case-2	7,000	1.03	0.40
正曲げ Case-3	5,000	1.02	0.70
正曲げ Case-4	8,000	1.03	0.40
負曲げ Case-1	2,000	1.00	1.00
負曲げ Case-2	3,000	1.20	0.80
負曲げ Case-3	6,000	1.25	0.50

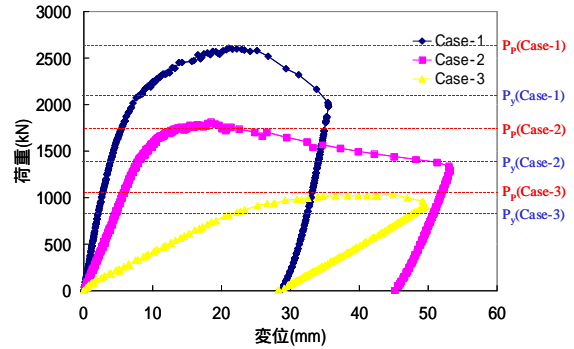


図 - 3 荷重 - 変位関係(負曲げ)

3. 実験結果と考察

1) 荷重 - 変位関係

図 - 2,3 に荷重 - 変位関係, 表 - 3 に塑性モーメントの計算値と実験値の比較を示す. 図中には各 Case に対応する計算上の降伏モーメント時の荷重 P_y , 塑性モーメント時の荷重 P_p を記入している. 3 点載荷 Case (正曲げ Case1,2, 負曲げ Case2) では桁中央モーメントが降伏モーメントを超えたあたりから直線勾配から外れ始め, 塑性モーメントを超える終局モーメントが得られる. これは, 鋼桁の 3 点載荷でも知られているように, 曲げモーメントに勾配がある場合, 最大曲げの生じる断面がひずみ硬化域に入るためと考えてよい. 一方, 4 点載荷 Case (正曲げ Case3,4, 負曲げ Case1,3) では, 降伏荷重に達する前から非線形挙動が見られ(残留応力の影響), 終局モーメントはほぼ計算上の塑性モーメントに近い値となる. しかし, その差異は最大でも 3% 程度であり, 両ケースにおいて実験値と計算値は非常に一致を示している.

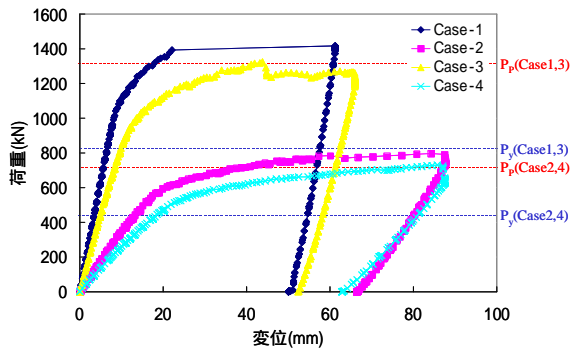


図 - 2 荷重 - 変位関係(正曲げ)

表 - 3 終局強度の比較

	実験桁	実験値		計算値		強度比
		Pu (kN)	Mu (kN·m)	Mp (kN·m)	My (kN·m)	
正曲げ	Case-1	1417	1417	1312	845	1.08
	Case-2	797	1395			1.06
	Case-3	1324	1324			1.00
	Case-4	730	1278			0.97
負曲げ	Case-1	2607	1304	1313	1045	0.99
	Case-2	1815	1361			1.04
	Case-3	1034	1293			0.98

2) 破壊状況

図 - 4 ~ 10 に各ケースの破壊状況を示す. 正曲げ Case では, 初期ひび割れ発生荷重は, それぞれ 1300kN, 700kN, 1250kN, 700kN となり, 最大荷重が同一なケースでは, ひび割れ荷重がほぼ等しいと言える. 初期ひび割れはすべて床版下縁に発生し, 荷重の増加とともに支間中央部もしくは載荷点近傍を中心にひび割れが進展している. 最大荷重近傍では, 床版上縁部の橋軸方向および橋軸直角方向に大きなひび割れが発生し, コンクリートが圧壊, 終局に至っている. 負曲げにおいて, Case-1 では, 載荷荷重 250kN 付近でコンクリートがひび割れ, 終局時には桁全体が南側に大きく座屈し, 終局に至っている. Case-2 では, 載荷荷重 300kN 付近でコンクリートがひび割れ, 終局状態では, 上フランジおよびウェブに大きな変形が生じている. Case-3 では, Case-1 と同様, 載荷荷重 250kN 付近で載荷点直下付近のコンクリートにひび割れが生じ, 終局付近では, 等曲げ区間の上フランジおよびウェブに座屈が生じ, 終局に至った.



図 - 4 破壊状況 (正曲げ Case - 1)

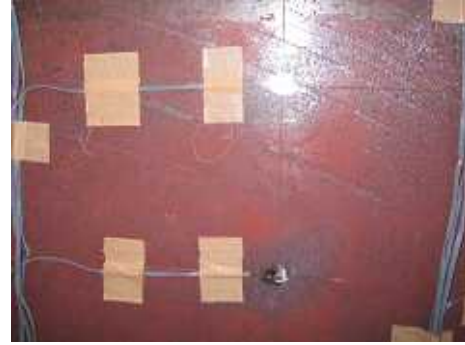


図 - 8 破壊状況 (負曲げ Case - 1)



図 - 5 破壊状況 (正曲げ Case - 2)



図 - 9 破壊状況 (負曲げ Case - 2)



図 - 6 破壊状況 (正曲げ Case - 3)



図 - 10 破壊状況 (負曲げ Case - 3)



図 - 7 破壊状況 (正曲げ Case - 4)

3) 相関強度関係

図 - 11,12 に各ケースの相関強度関係を示す。図中には、比較のため、4 乗相関の曲線および各基準の相関曲線を記入している。

ここで、EC における曲げとせん断の相関強度は、作用せん断力がせん断耐力の 50% を超える場合、ウェブの降伏強度を式(3),(4)により低減させて塑性モーメントを求める(図中、印)。その際、塑性中立軸の位置は、低減前の値を用いる。また、AASHTO における曲げとせん断の相関強度は、作用モーメン

ト M_u が終局塑性モーメント M_r の 50% を超える場合、せん断耐力に対して低減係数(R)を考慮し、式(5),(6)で表される。

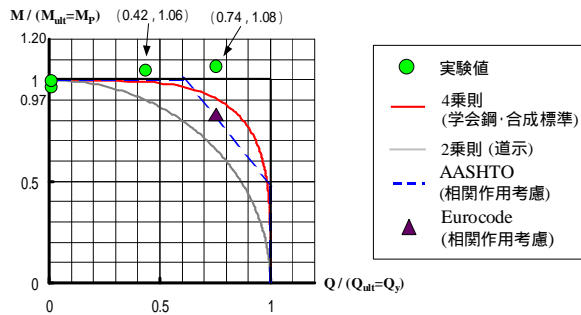


図 - 11 相関強度関係(正曲げ)

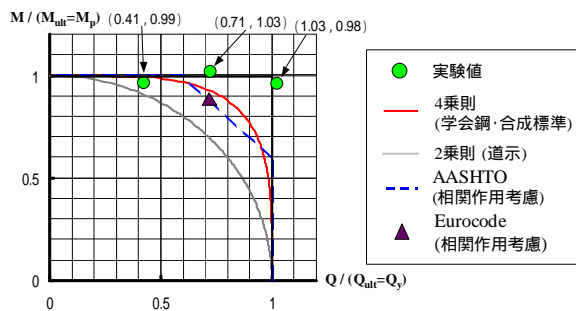


図 - 12 相関強度関係(負曲げ)

$$f_{yd} = (1 - \rho) f_y \quad (3)$$

$$\rho = \left(2 \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2 \quad (4)$$

$$\frac{V_n}{V_p} = R \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{1 + (d_o/D)^2}} \right] \quad (5)$$

$$R = \left[0.6 + 0.4 \left(\frac{M_r - M_u}{M_r - 0.75M_y} \right) \right] \quad (6)$$

ここで、相関作用を考慮する正曲げ Case-2, 負曲げ Case1,2 に対応する M/M_p は、それぞれ 1.08(正曲げ Case-1), 0.98(負曲げ Case-1), 1.03(負曲げ Case-2)である。負曲げ Case-1 では、塑性モーメントよりわずかに小さい終局モーメントとなったが、相関曲線では、正方形の枠の外に相関強度は位置した。また、他 Case においても、正方形の枠外にプロットされて

いる。

以上より、相関強度は無視できる可能性が示唆できたと考える。しかしながら、試験に用いた断面は、コンパクト断面であることから、今後、ノンコンパクト断面について、更なる検討が必要といえる。その場合、荷重履歴が関係することから、実験についても、一旦、鋼桁断面としての初期応力(前死荷重)を導入し、その後、配筋、床版打設を行い載荷することになり厄介である。そのため、FEA による計算が必要と考える。

4. 結論

本実験結果から得られた結論を以下に示す。

- 1) 塑性中立軸が床版内にある場合でも、コンクリートの引張域を無視して計算した塑性モーメント(計算値)に達することを確認した。
- 2) 負曲げ作用を受ける桁について、コンクリートを無視した[鋼桁+鉄筋]断面で終局強度を計算したが、実験値と計算値は良い一致を示し、コンクリート床版を無視した終局曲げ強度評価でよいと言える。
- 3) 曲げとせん断の相関強度特性に関して、正、負曲げを受ける場合、ともに相関による強度の低下は認められなかった。合わせて AASHTO の最新 Ver. を考慮すると、本実験では照査を無視できる可能性について方向性を示せたと考えられるが、ノンコンパクト断面については、今後の更なる検討が課題として残った。
- 4) 本実験における、スタッド設計法で決定したスタッド本数を採用しても、弾性範囲内での合成挙動と塑性モーメントに達することを確認した。これより、将来的には、スタッドの数を現行法に比べて少なくできる可能性を示唆できたと考える。