

合成 I 桁の曲げ及びせん断相関強度の解明に関する実験的研究

建設構造研究室 中花 洋介
指導教員 長井 正嗣

1. はじめに

近年、橋梁建設コストの削減が強く求められ、1990 年代前半から構造形態改革が進められ、少数主桁を用いたシンプルな形態の連続合成桁の建設数が増加している傾向にある。しかし、更なるコスト削減を図るために、更にシンプルな構造の開発は困難であり、したがって設計法のシフトとの組み合わせを考慮する必要があると考える。現在、我が国における鋼橋の設計は道路橋示方書で扱われている許容応力度設計法に基づいている¹⁾。より一層のコスト削減のためには終局限界を塑性強度とした塑性設計法の導入が必要と考える。

当研究室では、合成桁を対象に塑性設計を導入するための実験や解析的検討などを行っている。前年度において曲げ耐力の確認、Ductility 条件の検討を行った²⁾。1996 年にはせん断強度評価に関する実験を実施し、せん断強度評価には Basler 式が適していることを明らかにしている³⁾。

さて、合成 I 桁に曲げモーメントとせん断力が作用すると、せん断の相関作用により、曲げ耐力の低下が予想される。しかしながら、合成桁を対象にした耐力の検討や実験はほとんど行われていないのが現状である。そこで、合成桁の性能照査限界状態設計法の開発研究の一貫として、曲げとせん断作用の比率が異なる 3 ケースの静的載荷実験を実施し、相関強度の確認および当研究室が提案する 4 乗相関則(式(1))による照査方法の妥当性の検討を行う。さらに、アスペクト比()=1.5 および 2.0 を有する合成桁および 2 重合成桁のせん断強度実験を行い、

Basler 式(式(2))の妥当性を確認する。

$$\left(\frac{M}{M_{u(p)}}\right)^4 + \left(\frac{Q}{Q_u}\right)^4 \leq 1.0 \quad (1)$$

ここで、 M 、 Q は作用曲げモーメントおよびせん断力、 M_u 、 Q_u は終局曲げモーメントおよびせん断耐力で、本研究は M_u を全塑性曲げモーメント M_p 、 Q_u を Basler 式から算出したせん断耐力としている。

$$\frac{Q_u}{Q_y} = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} + \frac{\sqrt{3} \{1 - (\tau_{cr}/\tau_y)\}}{2 \sqrt{1 + \alpha^2}} \quad (2)$$

ここで、Basler 式は後座屈強度を考慮した式で、 τ_{cr} はせん断弾性座屈強度、 τ_y は降伏せん断強度である。

2. 実験概要

図 1 に、本実験の目標とする曲げせん断比の範囲を示す。4 乗則を基準に、曲げせん断相関実験はお互い影響し合う範囲としている。せん断実験は曲げ作用も加わるが、相関図(図 1)より、曲げモーメント比が 50%より低い場合、曲げモーメントの影響が非常に小さいことから、この範囲でせん断強度の確認を行った。

図 2 に、曲げせん断相関強度実験の実験桁を示す。全ケースでアスペクト比は 1.5 である。図 3 にせん断実験の実験桁(=1.5, 2.0)を示す。図 4 に 2 重合成せん断実験の実験桁を示す。表 1 に全実験の各材料特性値を示す。

載荷方法は、最大圧縮荷重 10,000kN の大型構造物試験機(写真 1)を用い、最大荷重を終局

曲げ耐力(もしくは、せん断耐力)とし、最大荷重に対し 12.5%、25%、37.5%、50%、降伏荷重の 90%、最大荷重の順で漸増載荷実験を行った。せん断実験は、後の実験に影響を少なくするため、 $\alpha = 1.5$ を先に実施した。

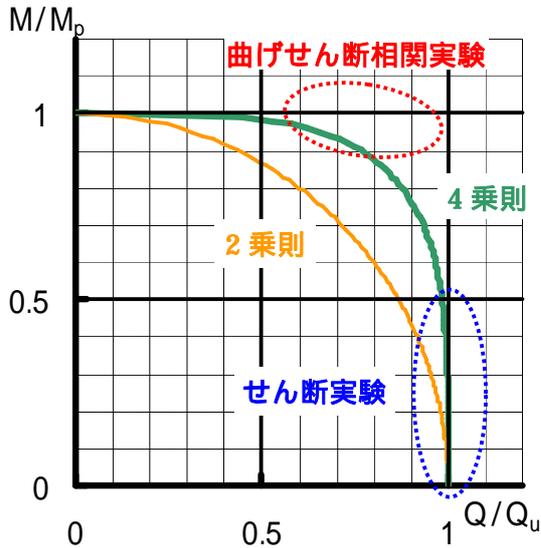


図 1 曲げせん断の相関関係

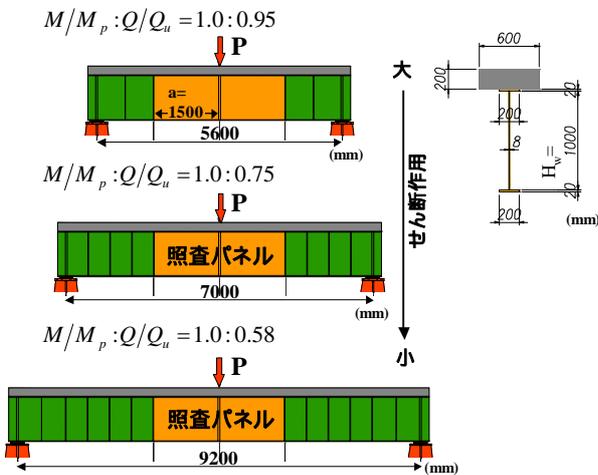


図 2 曲げ、せん断相関強度実験桁

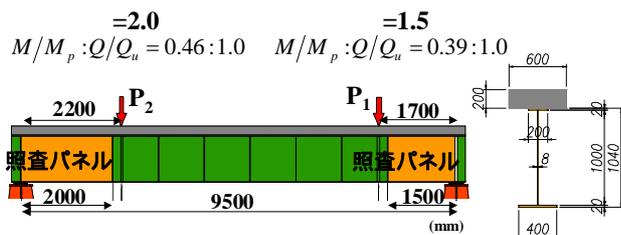


図 3 せん断実験桁($\alpha = 1.5, 2.0$)

$$M/M_p : Q/Q_u = 0.59 : 1.0$$

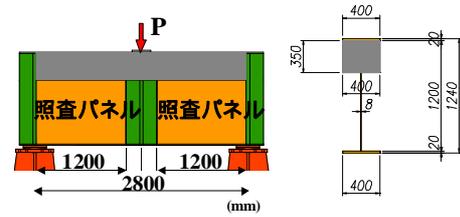


図 4 2重合成桁せん断実験桁

表 1 材料特性 (N/mm²)

実験桁	U.Flг	Web	L.Flг	ck(コア)
	307	314	307	40.75
	307	314	305	39.00
	307	329	307	40.90
せん断	307	329	307	50.70
2重合成	307	329	307	51.70

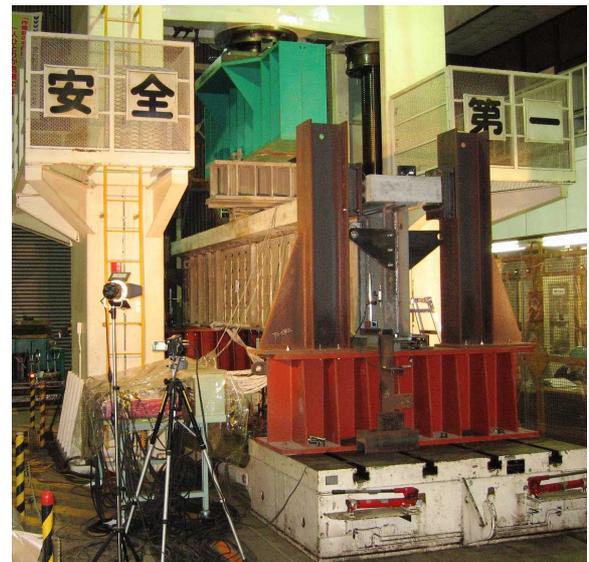


写真 1 試験機と桁設置状況

3. 実験結果と考察

3.1 曲げせん断相関実験

図 5 に相関実験の荷重 P と鉛直変位 δ の関係を示す。全ケースで、桁中央が全塑性曲げモーメント達成する荷重 P_p を上回っている。これは、モーメント最大の桁中央断面が全塑性

化した状態でも，他の領域は弾塑性あるいは弾性状態であること，また，ひずみ硬化による影響と考えられる．

写真 2 にウェブの面外変形を示す．せん断比が高い曲げせん断 で，せん断座屈による斜張力場の変形が生じた．他の実験桁では見られなかった．

表 2 に終局荷重時の各断面力(終局耐力)および M_p , $Q_{u(Basler)}$ の計算値を示す．また，図 6 に各終局耐力を計算値でそれぞれ無次元化し(以下，無次元化耐力)，曲げせん断相関図にプロットしたものを示す．さらに，前年度の曲げ耐力結果も併せて示す．同図より，全ケースで終局曲げモーメント M_u は M_p に達し，せん断作用による強度低下は確認できなかった．今後，実験及び計算例を蓄積し，その妥当性を検討する．

表 2 終局耐力 (kN・m, kN)

	実験		計算値	
	M_u	Q_u	M_p	$Q_{u(Basler)}$
	3298	1178	3061	1149
	3264	933	3033	1149
	3259	709	3127	1171
06'	5480	-	5026	-

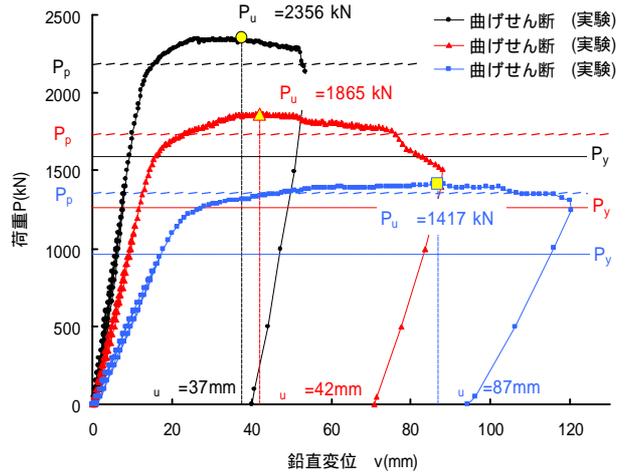


図 5 荷重 鉛直変位(曲げせん断)

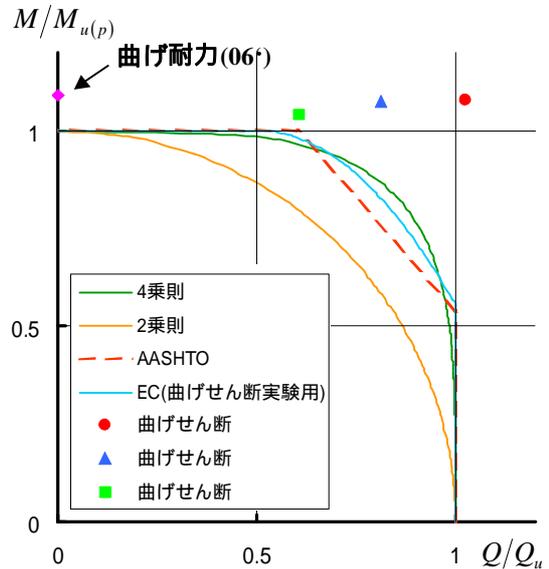
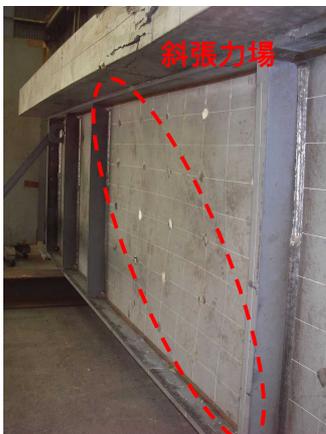


図 6 曲げせん断相関関係



a) 曲げせん断



b) 曲げせん断



c) 曲げせん断

写真 2 ウェブの面外変形(相関実験)

3.2 セン断実験($\lambda = 1.5, 2.0$)

図 7 に最も大きいたわみが生じた断面の荷重 P とウェブの面外変位 w の関係を示す。アスペクト比 $\lambda = 1.5$ の場合、比較的低い荷重から面外変位が発生し、弾性座屈から後座屈への明確な挙動を確認できない。この要因として、初期たわみが大きかったことが考えられる。一方、 $\lambda = 2.0$ の場合、せん断座屈現象が明確に現れた後に後座屈挙動が見られ、最大荷重 P_u に至っている。また、両ケースの最大荷重は Basler より算定したせん断強度を上回った。

写真 3 にウェブの面外変形を示す。両ケースで曲げせん断と同様にせん断座屈による斜張力場の変形が生じた。

表 3 に終局せん断耐力 Q_u (実験値) と降伏せん断強度 Q_y (計算値) を示す。また、図 8 にせん断耐力と幅厚比パラメータ λ_s の関係を各強度式と併せて示す。同図より、 $\lambda = 1.5, 2.0$ および 96 年に実施した 3.0 のせん断耐力は、Basler 式より高く現れていることから、Basler 式により安全に評価できると言える。しかし、どの程度安全側の評価になっているかについて、定量的な考察ができていない。今後、床版のせん断負担や床版を含むフレーム作用などの効果を明らかにする必要がある。

表 3 終局せん断耐力と降伏せん断強度

	Q_u (kN)	Q_y (kN)	Q_u/Q_y	s
$\lambda = 1.5$	1269	1596	0.80	1.43
$\lambda = 2.0$	1233	1596	0.77	1.52
$\lambda = 3.0$	1499	3291	0.46	2.44

3.3 2重合成せん断実験

図 9 に最も大きいたわみが生じた断面の荷重 P とウェブの面外変位 w の関係を示す。2重合成でも $\lambda = 1.5$ と同様に明確な座屈挙動が

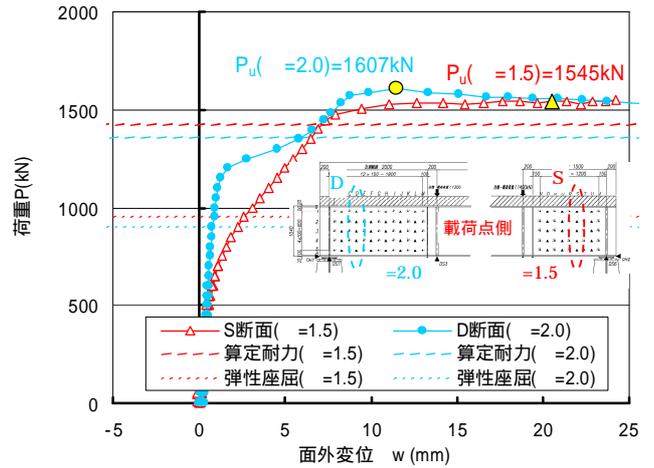


図 7 荷重 面外変位(せん断)



a) $\lambda = 1.5$ b) $\lambda = 2.0$

写真 3 ウェブの面外変形(せん断実験)

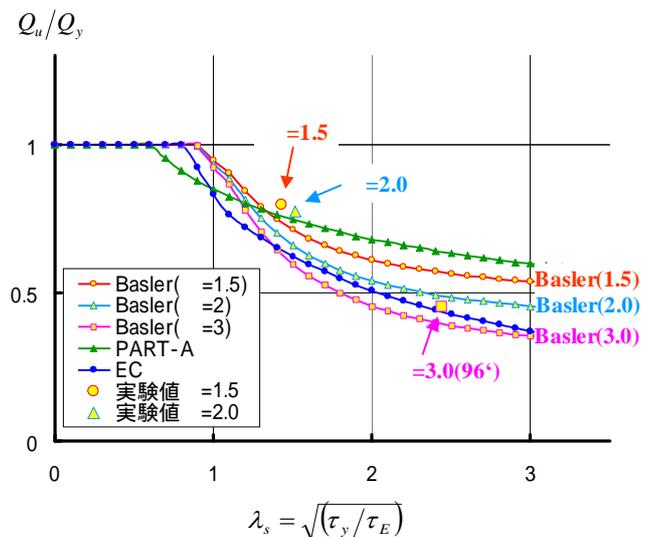


図 8 せん断強度比較

見られなかった。Baslerより算定したせん断強度を上回った。

写真4にウェブの面外変形を示す。ここでもせん断座屈による斜張力場の変形を確認できる。前結果の $\lambda=1.5, 2.0$ の斜張力場は上フランジから対角線上に分布していた。一方、2重合成では床版下から対角線上に分布していることから、床版の拘束効果を確認できる。

3.4 4乗相関則の適用

表4にせん断実験($\lambda=1.5, 2.0, 2$ 重合成)の終局荷重時の各断面力(終局耐力)および $M_p, Q_u(\text{Basler})$ の計算値を示す。また、図10に全実験の無次元化耐力を曲げせん断相関図にプロットしたものをまとめて示す。本実験、および過去に実施した耐力実験結果は、本研究で提案している4乗相関則の外側に位置していることから、4乗側を適用する設計は安全側になると言える。しかし、パラメータが限定されていることから、今後更なる実験および計算例を蓄積し、相関強度の扱いについて検討を行う必要がある。

表4 終局耐力 (kN・m, kN)

	実験		計算値	
	M_u	Q_u	M_p	$Q_u(\text{Basler})$
$\lambda=1.5$	1903	1269	4490	1171
$\lambda=2.0$	2470	1235	4490	1043
$\lambda=3.0$	-	1499	-	1303
2重	2516	1797	4744	1632

4. 結論

本研究は、合成I桁の曲げとせん断の相関関係を明らかにするため、曲げせん断比を変化させて静的載荷実験を行った。さらに、Basler式によるせん断強度の妥当性を検討するため、アス

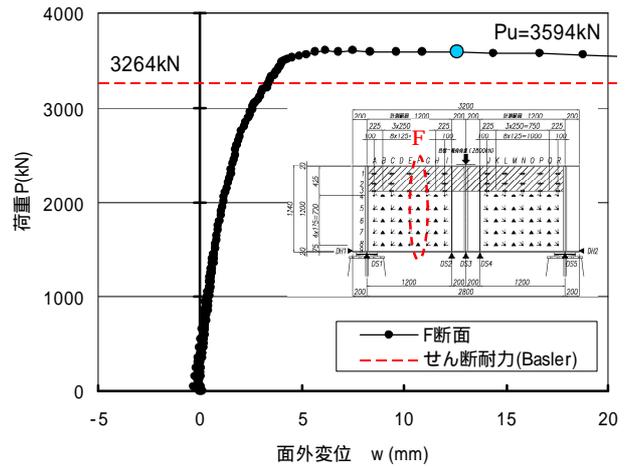


図9 荷重 面外変位(2重合成)



写真4 ウェブの面外変形(2重合成)

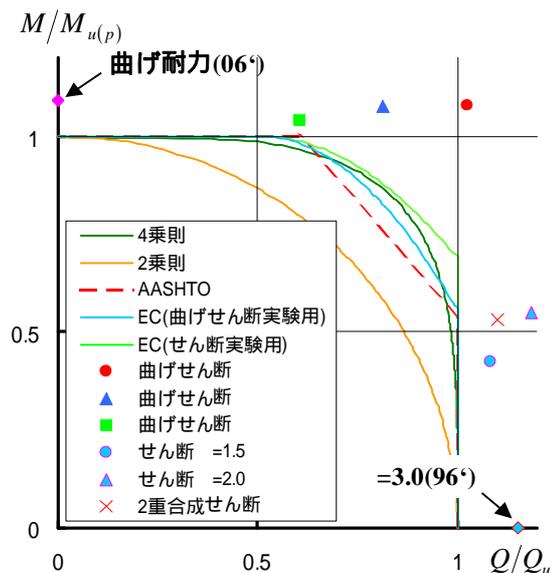


図10 曲げせん断相関結果

ペクト比 $=1.5$ と 2.0 を有する合成桁および 2 重合成桁の静的載荷実験を行った。

本研究で得られた結果を以下に示す。

1) 曲げモーメントとせん断作用の比率を変化させた 3 ケースとともに、曲げ強度は、せん断作用に関係なく塑性モーメントに達し、曲げとせん断の相関作用および相関に伴う強度低下は見られなかった。

2) 本実験から、4 乗相関則を適用する設計は、安全側になると言える。しかし、パラメータが限定されていることから、今後更なる実験、計算例を蓄積し、相関強度の扱いについて検討を行う必要がある。

3) $=1.5$ 、 2.0 を有する合成桁および 2 重合成桁のせん断強度は、Basler 式で算出した強度より高い値を得たことから、Basler 式を採用することで、安全側に強度を評価できる。

4) 上記 3) の安全側の程度について、定量的な考察が今後の課題となった。床版のせん断負担、床版を含むフレーム作用等の効果を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 (共通編, 鋼橋編), 2002.3
- 2) PHAN QUY THANH：正・負曲げを受ける合成桁の終局挙動に関する実験的研究，長岡技術科学大学建設工学専攻 修士論文，平成 18 年 2 月
- 3) 大垣 賀津雄：PC 床版連続合成 2 主桁橋の合理的設計，施工法の開発研究，平成 12 年 9 月