

垂直補剛材を有する鋼 I 桁の耐荷力に着目した載荷実験

(独)水資源機構 正会員 ○富田 尚樹 阿曾 浩 正会員 佐藤 信光
(株)オリエンタルコンサルタンツ 金築 知也 正会員 前田 和裕 正会員 大竹 省吾

1. はじめに

古い鋼製ダムゲートを構成する鋼 I 桁部材について、現行の腹板補剛設計規定を満足しないものが存在している。これらの現行設計基準を満たさない鋼 I 桁の耐荷性能、耐震性能等を明確に評価する知見は現時点で得られていない。本研究は腹板の垂直補剛材の設計規定に着目し、現行基準を満たさない補剛材を有する鋼 I 桁に対して耐震性能照査の評価に用いる「限界状態応力度」を把握するために、基礎的知見を得ることを目的として、垂直補剛材の諸元の違いが桁の耐荷力に与える影響に着目した鋼 I 桁の曲げ載荷実験を実施した。

2. 垂直補剛材の設計規定

垂直補剛材に関する設計規定を表-1 にまとめる。

表-1 垂直補剛材の設計規定

項目	規定値
垂直補剛材間隔(d)	$d / bw \leq 1.5$
垂直補剛材の幅(as)	$as \leq bw / 30 + 50$
垂直補剛材の板厚(ts)	$ts \leq as / 13$
垂直補剛材の剛度(Iv)	$Iv \geq bw \times tw^3 \times rv / 11$

ここで、bw : 腹板幅(mm) tw : 腹板厚(mm)

rv : 垂直補剛材の必要剛比 = $8 \cdot (bw/d)^2$

3. 実験計画

(1) 概要

古いダムゲートを調査した結果、前項に示した設計規定のうち、特に垂直補剛材の間隔及び剛度について現行設計規定を満足しないものが存在することが分かった。そこで間隔及び剛度が設計規定を満足しない垂直補剛材を有する供試体を作成し、破壊形態や耐荷力の変化について規定を満足する垂直補剛材を有する供試体との違いを分析する。

(2) 供試体

供試体は等断面の溶接 I 桁とする。また垂直補剛材は腹板のせん断座屈に対する補剛を目的とした部材であるため、腹板に曲げ応力度及びせん断応力度が作用するよう載荷する。実際のゲートには水圧による等分布荷重が作用するが、本実験では簡略化のため、荷重は支間中央部への集中荷重とする。

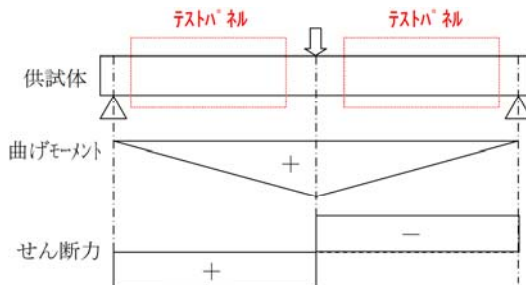


図-1 載荷イメージ図

供試体は垂直補剛材剛度が基準不足のもの、垂直補剛材間隔が基準不足のもの、そして基準を満足するものの3ケースを作成した。また座屈載荷装置の能力(最大荷重:1000kN)より、500kN程度の荷重でフランジの降伏及び腹板の座屈に達する断面とした。

表-2 各ケースの垂直補剛材諸元

垂直補剛材諸元		Case1	Case2	Case3
幅(mm) (as)		35	70	70
厚さ(mm) (ts)		3.2	4.5	4.5
剛度(mm4) (Iv)		45,733	514,500	514,500
設計規定 ※1 (Iv≥ bw×tw ³ ×rv/11)		<58,240 不足	≥58,240 適合※2	≥58,240 適合
間隔(d)		400mm	1600mm	400mm
設計規定 (d/dw≤1.5)		0.77	3.08	0.77
		≤1.5 適合	>1.5 不足	≤1.5 適合
設計 強度	フランジ 降伏強度	414kN		
	腹板 座屈強度	—	310kN	458kN

※1 rv : 垂直補剛材の必要剛比 = $8 \cdot (bw/d)^2$

※2 規定値は d=400mm として算出

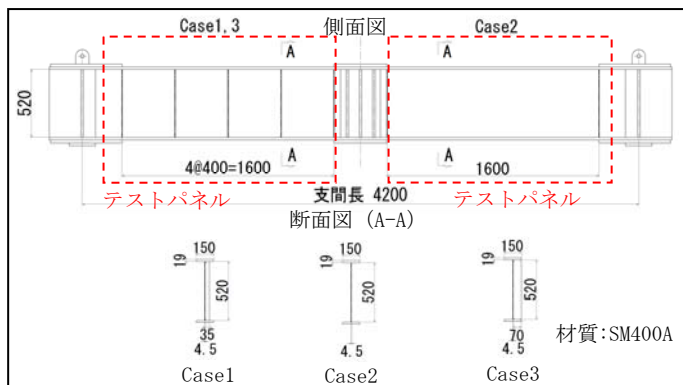


図-2 供試体寸法

キーワード：ダムゲート、載荷実験、垂直補剛材、せん断座屈

連絡先：〒338-0812 埼玉県さいたま市桜区大字神田 936 独立行政法人 水資源機構 総合技術センター TEL:048-853-1785

(3) 載荷装置

実験施設は国立研究法人土木研究所の大型構造物繰返し装置(鉛直最大荷重:1000kN、支柱間寸法:3350mm)を使用した。

(4) ひずみ測定【使用機器: ひずみゲージ】

フランジに1軸ひずみゲージ(橋軸)、腹板に3軸ひずみゲージ(鉛直、水平、45°)を設置して各部材のひずみを計測した。

(5) 変位計測【使用機器: 高感度変位計】

桁の荷重—変位挙動を把握することを目的として支間中央下フランジの鉛直変位を計測した。

(6) 腹板初期不整の計測

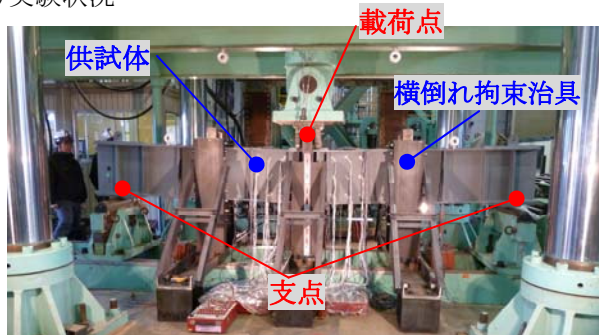
腹板の初期不正は座屈の挙動に大きく影響するため、載荷前の各供試体について、腹板の面外方向の初期不正を計測した。

(7) 横倒れ拘束治具

本実験は腹板のせん断座屈挙動を確認することが狙いであるため、横倒れ座屈の先行発生を防ぐ必要があること、また実際のダムゲートの部材は圧縮フランジがスキンプレートに拘束されており横倒れ座屈が生じないこと構造であるため、実際の構造物に即した条件で実験を行うことを目的に、横倒れ座屈の発生を防止する治具を設置した。

4. 実験結果

(1) 実験状況



(2) 材料試験

試験に先立ち材料試験を実施し、部材の降伏応力度を確認した。SM400Aの降伏強度の公称値は235N/mm²であるが、試験の結果、本供試体の降伏強度は274N/mm²であることが分かった。

(3) 荷重変位曲線

図-3より、Case1とCase3は同じような挙動を示した一方でCase2は他ケースと異なり降伏後に耐力力が低下している。また全ケースで降伏強度が計算値より大きくなっているが、これは降伏強度が公称値より大きい材料を使用していること、後座屈強度による影響が考えられる。

(4) 桁の変形状況

Case1とCase3は上フランジのねじれ座屈の挙動が見られたがCase2には見られない。これはCase2は腹板

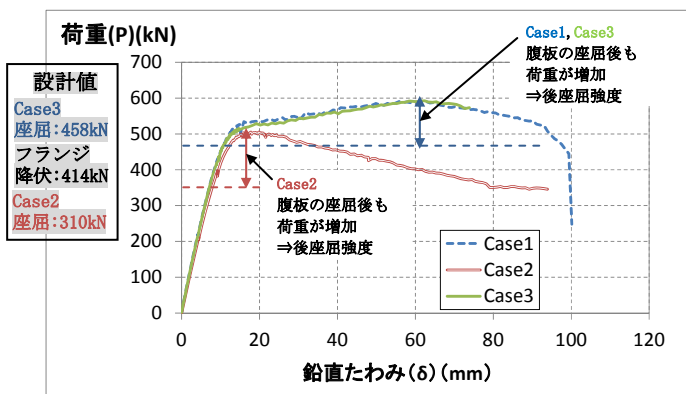


図-3 P-δ 曲線

のせん断座屈が先行して発生したためと推測される。

また腹板の変形に着目すると、Case3は1パネル間での腹板のせん断座屈が生じているのに対して、Case1は垂直補剛材の剛度が低いため垂直補剛材が塑性化して2パネル間に渡るせん断座屈が生じている。垂直補剛材のないCase2は腹板全体にわたって腹板がハラミ出すように座屈が生じている。

表-3 供試体の変形状況

	Case1	Case2	Case3
フランジ			
腹板			

5. 考察

本実験より得られた結果を以下にまとめる。

- ① 垂直補剛材剛度を規定値の80%程度とした結果、腹板の座屈が隣のパネルに跨る挙動となるが、耐力力の低下は見られない。
- ② 垂直補剛材間隔を規定値の2倍程度とした場合、フランジのねじれ座屈より先に腹板のせん断座屈が発生することで、耐力力の低下に繋がった。
- ③ 全てのケースにおいて、設計時の腹板座屈強度より大きな耐力力を示した。これは腹板のせん断座屈後に桁に斜め張力場が形成され、後座屈強度が発揮されたためだと推測される。斜め張力場において垂直補剛材は補強部材として働くため、Case2は他案より耐力力が劣る結果となった。

6. おわりに

今後は、現行基準を満たさない補剛材を有する鋼 I 桁に対して、載荷実験結果を非弾性有限変位解析により再現し、限界状態応力度を評価する予定である。

参考文献

- ・ダム・堰施設技術基準(案)(ダム・堰施設技術協会)
- ・道路橋示方書・同解説(日本道路協会)