

## 地震時超過作用に対する橋梁の損傷誘導部における挙動評価試験

寒地土木研究所 正会員 ○佐藤 京  
 寒地土木研究所 正会員 寺澤 貴裕  
 寒地土木研究所 正会員 安中新太郎

## 1. 目的

著者らは、道路橋の耐震性に加えて危機耐性として、照査レベルの地震動を超える事象に備えるため、機能回復力（レジリエンス）を高める対策技術として損傷誘導設計法を検討している。損傷誘導設計法とは、要求される耐震性能が照査された橋梁に対し、部材の耐力を階層化し、機能回復が最も容易な部材へ損傷を誘導するという設計シナリオを基本とし、損傷を誘導する部材が適切に損傷するための構造的配慮を実施するものである。著者らは既報<sup>1),2)</sup>において、ロックオフ構造を有する支承に損傷を誘導することの有効性を示したほか、支承部に求める耐力は、橋脚の初降伏耐力より高く、限界状態2に相当する水平変位の特性値の耐力よりも低くなるように構造的配慮が必要であることを整理した。また、その具体的構造として下沓プレートを固定する切り欠きを有するボルトと橋脚内部に軸方向鉄筋を十字に追加配置した構造について試設計を実施している。

本検討では、損傷誘導設計の実証試験を実施する前提として必要となる「桁-支承」の試験体により下沓プレートを固定するボルトの応答を評価するための試験を実施した。その結果、ボルトには軸力も作用すること、せん断破断荷重は作用した軸力や締結力に影響を受けないことを確認した。

## 2. 試験概要

図-1 に示す試験装置を用いて、荷重ブロックに固定された上沓プレートに水平荷重を与え、ゴム支承にせん断変形を加え、下沓プレート取付ボルトがせん断破断に至るまでの荷重変位等を計測した。図-2 に試験状況の写真を、図-3 に試験に用いた下沓プレート用ノッチ付き取付ボルトを示す。また試験ケースを表-1 に示す。計測項目は、スクリュージャッキによる水平荷重と水平変位の他、図-4 上沓プレート平面図に示す点 DIS-H と図-4 下沓プレート平面図に示す2点（DIS-H1, H2）の水平変位である。No.2のみ図-4 下沓プレート平面図に示すように対角線に配置したボルトの軸力も測定した。使用したボルトの強度等を表-2 に示す。せん断降伏荷重や最大荷重は、ノッチ部断面（深さ  $b=1.5\text{mm}$ 、高さ  $h=1.5\text{mm}$ ）で算出している。実態を反映した特性を検討するため、下沓プレートのボルト用孔は、ボルト径に対して直径で  $2\text{mm}$  の余裕を設けている。

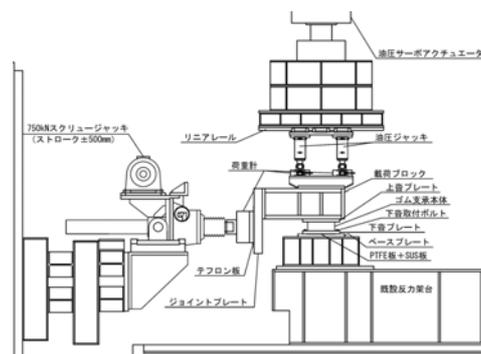


図-1 試験装置概要図



図-2 試験状況写真

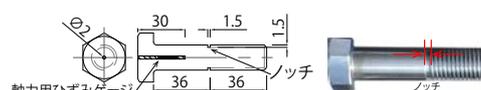


図-3 下沓プレート用ノッチ付き取付ボルト

表-1 試験ケース一覧

No	荷重速度 (mm/sec)	鉛直荷重 (N/mm <sup>2</sup> )	ボルト概要	ノッチ	固定 ボルト数	ボルト 締結力
1	0.1	4	M16, 強度区分 10.9	h=1.5 b=1.5	4	0% (0kN)
2	0.2					30% (15kN)
3	0.2					70% (35kN)

ボルト締結力；ボルト引張強度に対する割合

## 3. 試験結果と考察

図-5 に上沓プレート位置（図-4 上沓プレート平面図の DIS-H と示した測点）の変位に対する水平荷重の関係を示す。締結力が高くなると、締結力 0% の最大耐力と比べ 2% 最大耐力が低下し、そのときの水平変位は、3~4% 程度増加するが、その差は小さく、締結力の影響は小さい。

下沓プレートの水平荷重と変位関係を試験ケース毎に図-6 に示す。Ave\_DIS-H1-H2 は、DIS-H1 と DIS-H2 の平均値である。各ケースで水平荷重 60kN 前後で下沓プ

キーワード 耐震設計, 超過作用, 損傷誘導設計法, 耐力階層化

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 寒地土木研究所寒地構造チーム TEL011-841-1698

レートにずれが生じている。締結力 0%では、一度ずれたのち水平荷重と変位が増加するが、締結力 30%、70%においては、ずれの量に対し多段的、または滑らかに水平荷重が増加するような現象が確認された。また、締結力 0%と 30%では、ボルトの水平最大荷重時の水平変位が同程度であるのに対して、締結力 70%では左右の水平変位に大きな差が生じている。この70%のケースでは、ずれが収束した後の荷重-変位関係が同形状であり、上沓プレートの水平変位と荷重の関係において、締結力 0%および 30%の結果と相違がないことから、下沓プレートのボルト用孔に対するボルトの位置の違いが、変位差の原因であると推察する。

次にボルト軸力と下沓プレート水平変位の関係と下沓プレートの水平変位-荷重関係と併記して図-7 に示す。併記した下沓プレートの水平変位は、ボルトが設置されている側面の計測値である。水平載荷装置側（載荷方向手前）の BT-3 の軸力は、プレートの水平荷重の増加に追従しながら増加している。これに対し、水平載荷装置から遠い（載荷方向後方）BT-4 では、載荷直後にボルトの軸力が低下し、プレート

滑りの収束後、緩やかに軸力が増加する。その最大値は、BT-3 の最大軸力の 1/3 以下と当初の締結力よりも若干高く、そこがボルトの降伏点であると考えられる。ここまでの

試験結果から、No.2 については、載荷方向手前側ボルトでは、水平載荷に同調して軸力が上昇、載荷方向後方側ボルトでは軸力が低下するといった応力状態であるが、それらは水平力によるボルトの降伏に影響を与えていない。

4. まとめ

「桁-支承」の試験体により下沓プレートを固定するボルトの応答を評価するための試験を実施した。その結果、ボルトには軸力も作用すること、せん断破断荷重は作用した軸力や締結力に影響を受けないことを確認した。今後は、損傷誘導設計の実証試験を報告する。

参考文献

- 1) 秋本光雄, 西弘明, 佐藤京: 超過作用に対する桁橋の損傷シナリオに関する検討, 第 21 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.225-228, 2018.7.
- 2) 秋本光雄, 佐藤京, 寺澤貴裕, 葛西聡: 地震時の超過作用を受けた橋梁の損傷制御を目的とした RC 橋脚の配筋に関する一提案, 第 22 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.81-84, 2019.7.

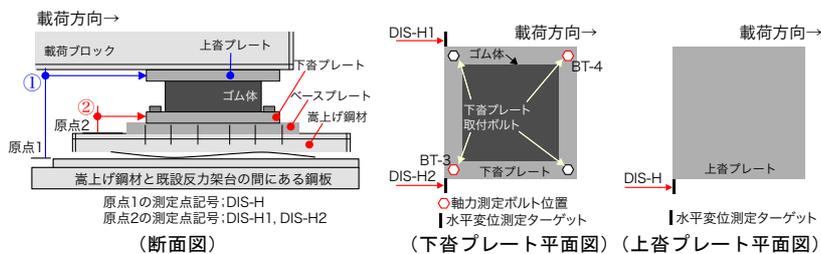


図-4 測定項目と測定位置図

表-2 使用ボルトの諸元

ボルト本数	引張耐力		降伏時 <sup>※1</sup> せん断耐力		最大荷重時 <sup>※2</sup> せん断耐力	
	公称値 降伏荷重	実強度 降伏荷重	公称値 降伏荷重	実強度 降伏荷重	設計値 最大荷重	試験値 最大荷重
1 本	124.8	138.0	72.0	-	79.7	85.3
4 本	499.1	552.2	288.1	-	318.8	341.2

単位(kN)  
 ※1 有効断面積 (ノッチ部) × 940 (N/mm<sup>2</sup>)/√3  
 ※2 有効断面積 (ノッチ部) × 1,040 (N/mm<sup>2</sup>)/√3

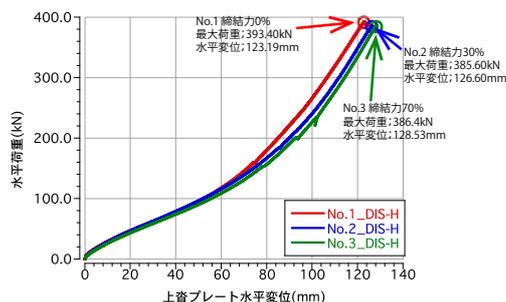


図-5 水平荷重-変位関係 (上沓プレート位置)

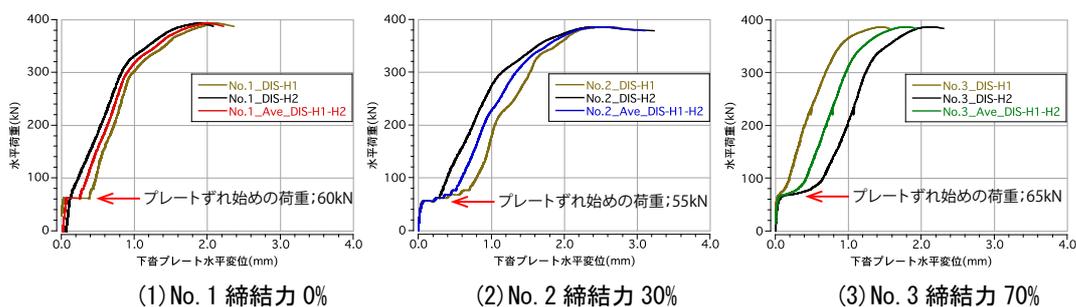


図-6 水平荷重-変位関係 (下沓プレート位置)

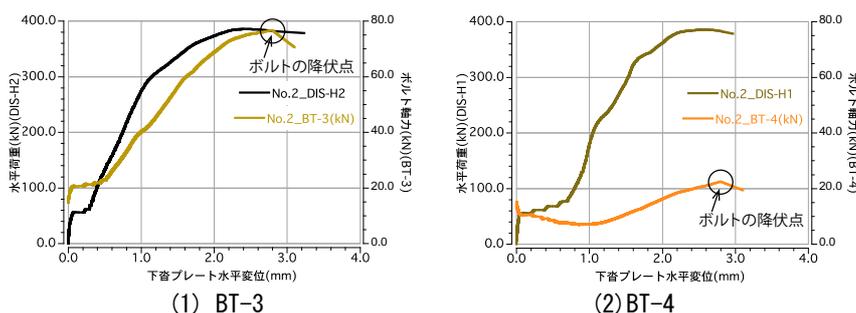


図-7 ボルト軸力と下沓プレート水平変位関係と下沓プレートの水平変位-荷重関係