

地震時における伸縮継手の衝突と取付け高力ボルトのノックオフに関する一検討

大阪市立大学大学院 学生員 石原和之 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村政秀
 大阪市立大学名誉教授 正会員 北田俊行 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口隆司

1. 研究背景とその目的

兵庫県南部地震以降、強地震動に対する安全性の確保と、下部構造へ伝達される慣性力の低減が可能な橋梁構造物の免震化が実施されてきた。一方、桁の連続化・連結化に伴う伸縮量増大に対応すべく、大型の鋼製フィンガージョイント（以下、単に伸縮継手という）が採用される傾向にある。しかし、伸縮継手は伸縮継手同士が衝突しても破断せず、橋軸直角方向の L2 地震動に対して上部構造の移動を制限する場合には、免震機能が阻害される可能性がある。本研究では、伸縮継手の衝突が免震高架橋の地震時応答に及ぼす影響を検討し、ノックオフ機能を有する伸縮継手の有効性を明らかにする。このとき、フェイスプレート取付けにスリットを設けた高力ボルト（以下、スリット型ボルトという）を用いることによってノックオフ機能を付加することを考え、この破断性状を静的載荷実験により検討する。

2. 伸縮継手間の衝突を考慮した高架橋の地震応答解析

文献 1) の高架橋モデルを参考に、2 径間連続鋼箱桁橋に単純鋼箱桁橋が隣接する連続免震高架橋モデル(図-1)を対象とする。このモデルの橋軸直角方向に L2 地震動を入力し、伸縮継手同士の衝突が高架橋の地震時応答に及ぼす影響を、地震応答解析により検討する。

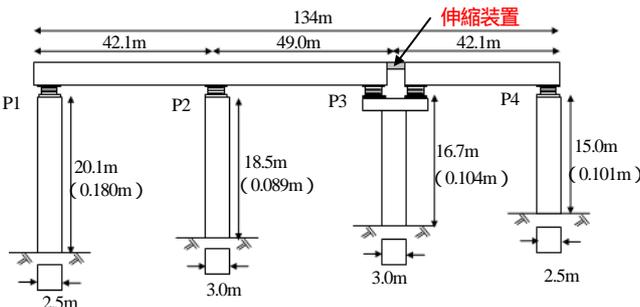


図-1 解析モデルの概要 (カッコ内は橋脚の降伏変位)

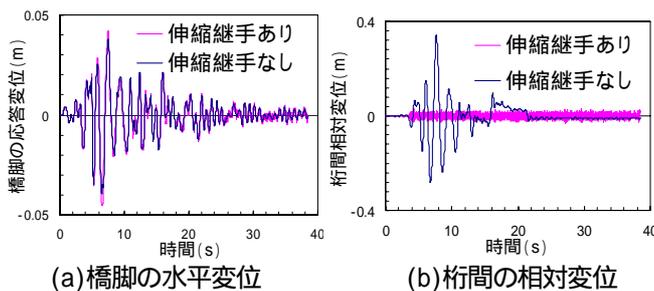


図-2 地震応答解析の結果 (橋脚 P3)

図-2 に解析結果を示す。伸縮継手同士が衝突し破断しない場合には、隣接桁間の相対変位はほとんど生じない一方で、橋脚の応答変位が 1 割程度上昇しており、伸縮継手による上部構造の変位拘束が、L2 地震時の免震挙動への影響は無視できないものと判断できる。

3. スリット型ボルト

スリット型ボルト(図-3)は、フェイスプレートと上フランジ境界位置のボルト軸部にスリットを設け、伸縮継手衝突時に、スリット部のせん断応力を局所的に高め、所定のせん断力が作用すると破断する高力ボルトである。想定破断荷重は以下の式(1)により算定する。

$$S_u = (\sigma_{bu} / \sqrt{3}) \cdot A_b \tag{1}$$

S_u : 想定破断荷重(kN), σ_{bu} : ボルトの引張破断強度(N/mm²),

A_b ($\pi d^2/4$): スリット部の断面積 (mm²)

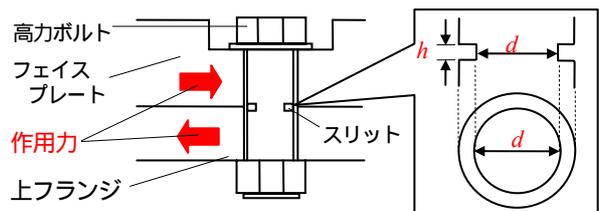


図-3 スリット型ボルト構造概要およびスリットの構造

4. スリット型ボルトの静的破断実験

実験概要を図-4 に示す。一般的にフェイスプレートの取付けには M22 高力ボルトが用いられるが、本実験では試験機の載荷容量の関係で M12 高力ボルトを用い、各パラメータによる破断性状への影響を明らかにする。また単体ではあるが、M22 高力ボルトによる実物大実験も行っている。実験方法は、上フランジを想定した厚さ 80mm 鋼板に、フェイスプレートを想定した載荷板をスリット型ボルトにより接合し、1,000kN 万能試験機を用いて載荷し、スリット高さ h 、スリット部径 d 、軸力の有無、列数、縮小率による破断特性の影響を調べる。また、80mm 鋼板、載荷板とも伸縮継手のボルト取付け部の実構造を忠実に 1/22 に縮小再現した孔あけ加工を施している。

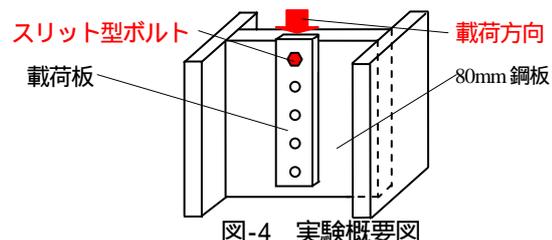


図-4 実験概要図

キーワード フィンガージョイント, ノックオフ構造, 破断特性, 免震構造

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 橋梁工学分野 TEL&FAX 06-6605-2765

表-1 実験パラメータと実験結果

試験体名	ボルト径	d (mm)	h (mm)	列数	軸力 (kN)	想定破断荷重 (kN)	破断荷重 (kN)	破断荷重制御率 / (%)	破断変位 (mm)
d0h0	M12	スリットなし		1	0	70.1	75.32	107.4	4.14
d1h2-1		11.5	1.2	1	0	65.2	70.3	107.8	5.20
d1h2-2				1	62.4	65.2	70.3	107.8	3.32
d2h1-1			0.6	1	0	53.3	62.5	117.3	2.32
d2h1-2				1	62.4	53.3	62.3	116.9	2.12
d2h2-1		10.4	1.2	1	0	53.3	61.8	115.9	3.60
d2h2-2				1	0	53.3	60.2	112.9	3.14
d2h2-3				1	62.4	53.3	58.2	109.2	2.60
d2h2-4				2	0	106.6	119.2	111.8	3.76
d2h2-5					0				4.54
d2h2-6				3	0	159.9	181.0	113.2	5.97
d2h2-7					0				5.17
d2h2-8					0				4.86
d2h3-1		1.8	1	0	53.3	61.8	115.9	5.15	
d2h3-2				1	62.4	53.3	59.4	111.4	3.24
d3h2-3		9.3	1.2	1	0	42.7	47.9	112.2	3.37
M22-d0h0	M22	スリットなし		1	0	238.6	251.7	105.5	6.74
M22-d2h2		19	2.2	1	0	177.9	191.1	107.4	5.04



図-5 スリット型ボルトの破断面

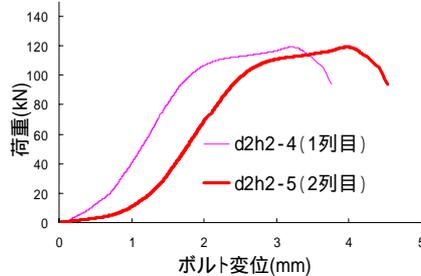


図-6 荷重-変位関係 (d2h2-4,5)

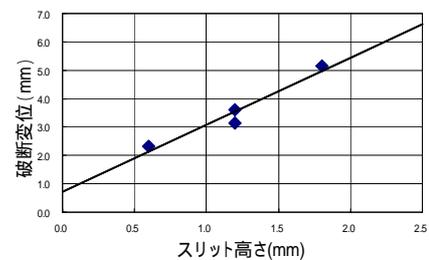


図-7 スリット高さ h と破断変位 δ_u の関係

5. 実験結果

表-1 に実験パラメータと実験結果をまとめて示す。ボルトの破断荷重は、最大荷重と定義し、同様に破断変位も最大荷重時の変位としている。図-5 に示すようにボルトはスリット部において破断し、破断荷重はいずれのパラメータでも式(1)により算定される想定破断荷重に比べ1割程度高い値を得た。ボルト軸力を導入にした場合には、破断変位が小さくなる傾向が認められるが、ボルト軸力の有無による破断荷重の顕著な差はなかった。また、ボルト列数を2,3列と増やした場合には、それぞれ破断荷重は1列の場合の2,3倍となった。ただし、2列目ボルトの変位が大きく、各ボルトが個別に破断した可能性も考えられる(図-6)。図-7 からスリット高さと破断変位に相関が認められる。

6. まとめ

本研究では、伸縮継手同士が地震時に衝突した場合の免震高架橋の地震時応答挙動を明らかにし、伸縮継手のロックオフ化の必要性を示した。またスリット加工を施しロックオフ機能を有する伸縮継手取付け用高力ボルトの破断特性を、載荷実験により検討した。その結果、以

下の結論を得た。

- (1)伸縮継手による上部構造の変位拘束が、免震高架橋に及ぼす影響は無視できない。(2)破断荷重はいずれも想定破断荷重と1割程度の差であり、スリット部径を変化させれば、破断荷重の制御は可能である。(3)ボルト軸力の有無による破断荷重の差はほとんどみられない。(5)2,3列の場合、破断荷重も2,3倍と列数倍となる(6)実寸法であるM22高力ボルトにおいても、破断荷重の制御は比較的精度が良い。

7. 今後の課題

ロックオフ機能を有する伸縮継手の開発には、以下が課題である。(1)常時におけるスリット部への応力集中による疲労破壊の検討、(2)ロックオフ後の伸縮継手の車両走行妨害防止策の検討(3)スリット型ボルトが個別に破断することによる伸縮継手のロックオフ荷重の低下
謝辞 本研究の実施には、科学研究費補助金基盤研究(A)(課題番号20246077)の助成を受けました。ここに記し謝意を表します。

参考文献 1) (社)日本鋼構造協会・(社)土木学会：橋梁システムの動的解析と耐震性,2000.4