

門型標識柱歩廊手摺り基部損傷に対する振動実験評価

首都高速道路株式会社 正会員 ○上坂 健一郎 正会員 田中 大介 正会員 木伏 基
(財)首都高速道路技術センター 正会員 小西 拓洋

1. はじめに

高速道路上の門型標識柱天端に設置された歩廊手摺り基部のボルトが破断する損傷が発見され、破断ボルトの破面調査および手摺りの現地振動計測を行った結果、高架部の振動に起因する手摺りの振動でボルト部に繰返し応力が負荷されたことによる疲労破断であることを確認した。本稿では、実物大試験体の振動実験により、ボルト損傷のメカニズムを究明し、補強構造、改良構造の効果とその耐久性について検証した結果を報告する。

2. ボルト損傷状況

歩廊手摺り支柱の角型鋼管は図-1に示すように上下段2列のボルト(M10, ダブルナット)で固定されているが、このボルトにゆるみや破断等の損傷が発見された。ボルトには、ボルト頭首下部の破断、胴回りの磨耗および破断、ネジ山つぶれが見られた(写真-1)。ボルトの磨耗は、角形鋼管のボルト孔の孔壁位置で起きていた。

3. 振動実験

(1) 試験方法

ボルト損傷のメカニズムを究明し、既設歩廊構造の補強構造および新設歩廊の改良構造の耐久性を確認するため、実物大試験体による振動実験を行った。表-1に示すように、試験体は4体とした。補強構造は、手摺りの四隅をL型部材で固定する方法(試験体②, ③: 写真-2, 3)とし、改良構造は角型にピースを溶接にて取り付け、ボルトにて架台に固定している(試験体④: 写真-4)。現地で計測された手摺りの振動数は約3Hzであり、実験ではこの前後でキャリブレーションした結果、2Hzで実構造の挙動に類似したため、これを加振振動数とした。実験では手摺りの加速度および基部のひずみを計測した。また、ボルトの損傷状況を把握するために、試験体①においてボルト軸の軸方向ひずみを計測した。

(2) 実験結果

試験体①および試験体②における手摺り上部および架台の加速度を図-2に示す。試験体①では最大値は1500gal程度であり、振動状況は実橋で観測された大型車通過時の挙動と同様である。これに対し、上部の変

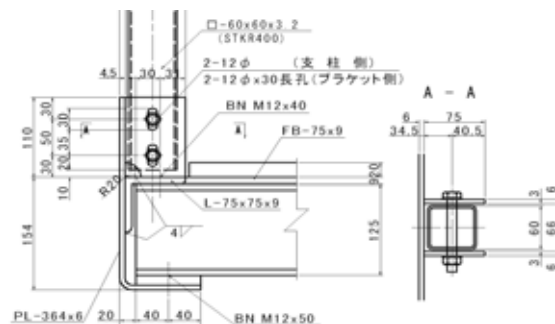


図-1 手摺り基部構造

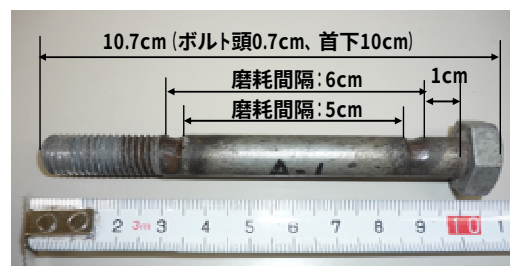


写真-1 ボルト損傷状況

表-1 試験体

試験体名	タイプ	対策	基部構造
試験体①	既設	無し	ボルト2本
試験体②	既設	上部固定	ボルト2本
試験体③	既設	上下固定	ボルト2本
試験体④	改良	溶接	溶接

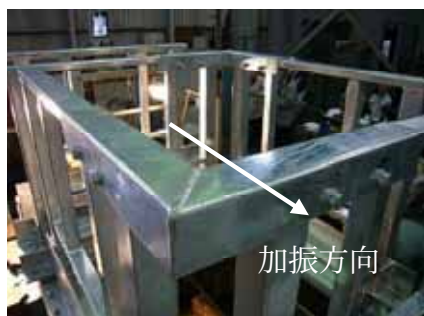


写真-2 試験体②（上部固定）



写真-3 試験体③（上下部固定）



写真-4 試験体④（溶接固定）

キーワード 門型標識柱, 振動実験, 疲労破壊, ボルト破断

連絡先 〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関（日土地ビル） 首都高速道路株式会社 TEL03-3539-9567

位を拘束した試験体②では手摺り上端で±150gal 程度と試験体 1 の約 1/10 となった。試験体③, ④についても応答は同程度であった。架台加速度は±110gal 程度であるため、支柱が固定されていれば、試験体に生じる最大加速度は大きくても架台加速度の 2 倍程度に収まることが確認された。溶接継手を採用した試験体④の基部に生じる曲げ応力は 0.7MPa と小さいことから、溶接部からの疲労き裂発生の可能性は低いと考えられる。また、240 万回までに試験体 1 以外はナットのゆるみ、胴回り磨耗、ボルトの破断などの損傷は見られなかった。図-3 に示す試験体①の各ボルトの破断に至る過程は以下の通りである。

- ①118 万回：c の 1 種ナットが緩みはじめる
- ②140～150 万回：c の 1 種ナットが脱落、d の 1 種ナットが緩み始める
- ③146 万回：b のナット 2 つが脱落
- ④160 万回：c の 3 種ナットが脱落、d の 1 種ナットが脱落
- ⑤191 万回：c のボルトが落下
- ⑥211 万回：d のボルトが首下で破断（落下せず）
- ⑦240 万回：a のボルトが破断

試験にて破損したボルトの破面を写真-5 に示す。2 本とも首下で破断しており、後に破断したボルトは大きな塑性変形が見られる。また、破断していないボルトの胴回りには現地と同様に角柱のボルト孔との摩耗によるへこみが残った（写真-6）。これらの結果から、ボルト損傷のメカニズムとして、まず門型標識柱の振動により、ボルトに大きなひずみが生じ、ナットがゆるみ脱落する。ナット脱落により手摺りの固定が緩み、手摺りの動きが大きくなり、他のボルトへの負担が増大する。この結果、ボルト軸方向に大きな応力変動が生じ、ネジの谷部など応力集中部からき裂が発生しボルトが破断したと考えられる。

4. 試験結果の評価

(1) 補強構造の妥当性評価

表-2 に振動実験での各試験体の応答加速度から推定した寿命比を示す。寿命は加速度振幅の 3 乗に反比例するとして算出し、試験体①に対する比とした。試験体①に比べ耐久性は格段に向上すると考えられる。

(2) 改良構造の評価

試験体⑤について、溶接継手に生じる応力は、実橋を想定した±5mm の振動でも応力レベルは十分低く、疲労き裂発生の可能性は低いといえる。

5. まとめ

振動実験により、手摺りに発生したボルト損傷のメカニズム及びその対策について以下のことがわかった。

- ・ボルト損傷は手摺りの衝突によってナットが緩み、脱落し手摺りの動きが徐々に大きくなり、衝突による衝撃がさらに損傷を助長し、ボルト破断が発生する。
- ・共振を起こさないよう手摺りを固定した補強構造や改良構造は、ボルトに手摺りの衝突による衝撃的な加速度は発生せず、ボルト損傷の危険性は非常に小さくなり、上部のみ固定でも十分な耐久性が確認された。

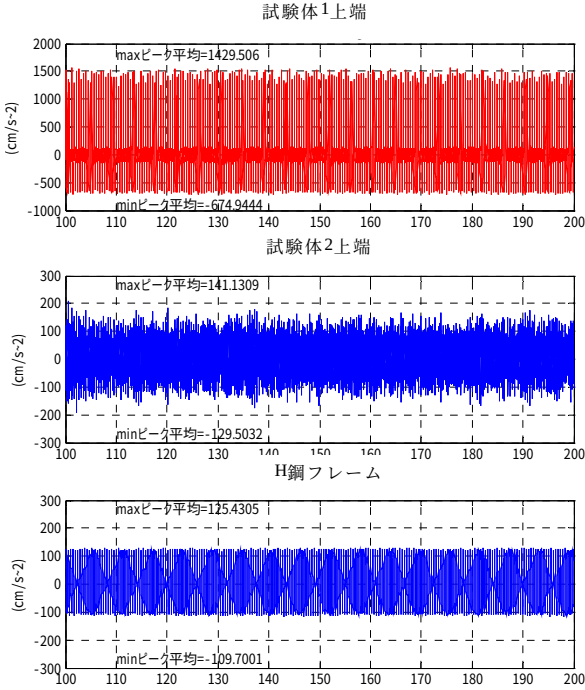


図-2 加速度

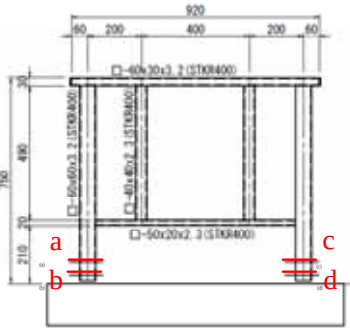


図-3 加速度

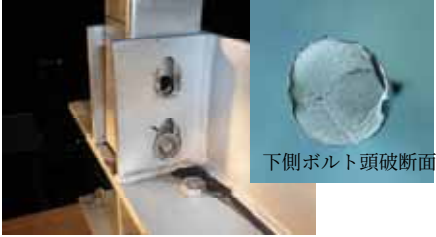


図-5 試験体①損傷状況



図-6 ボルト胴回り

表-2 応答加速度と寿命比

	加速度 (gal)			加速度比 R	寿命比 1/R³
	最大値	最小値	加速度振幅		
試験体①	1,423	-675	2,098	8.94	1
試験体②	140	-130	270	1.15	470
試験体③	147	-150	297	1.27	352
試験体④	146	-142	288	1.22	390