

支承に用いる六角ボルトを複数設置した場合の耐力評価に関する再現解析

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○二宮 智大, 中尾 尚史, 大住 道生

1. はじめに

道路橋の耐震性能の照査において設定する作用を超過する作用に対して、特定の部材に損傷を誘導することで橋梁全体が致命的な被害に至らないように損傷をデザインする方法や、その損傷を誘導する支承（損傷制御型支承）の検討が行われている^{例えは 1),2)}。損傷制御型支承の設計に当たっては、損傷させる部品と損傷させない部品の耐力を正確に評価し、部品同士の耐力差を明確に設定できるようにすることが重要であることから、著者らグループでは、下沓とベースプレートの間に取り付けられる複数本の六角ボルトに作用する力の作用状況と、六角ボルト全体の耐力を把握することを目的とした載荷実験を行った³⁾。

本稿では、複数本の六角ボルトに作用する力の作用状況の詳細を把握することを目的に、過去に実施した載荷実験の再現解析を行った結果を報告する。

2. 解析モデル概要

載荷実験では、写真-1に示すように M24 の六角ボルトを 8 本用いてベースプレートと載荷治具を接合し、油圧ジャッキを用いて載荷治具を水平方向に載荷することで、接合させた六角ボルトを破断させた。

上記載荷実験の解析モデルの概要を図-1に示す。解析モデルは対称性を考慮し 1/2 モデルとし、H 型鋼底面を完全拘束した。また、支圧板と載荷治具、ボルトとワッシャーは接点共有により拘束、ベースプレートと H 型鋼は接点を剛体拘束した。簡略化のため図-2に示すように、六角ボルトを円柱形でモデル化し、ネジ山を無視した分の隙間量を補正するために載荷治具のボルト穴側面に隙間補正用要素を追加した。また、載荷治具と接触する六角ボルトの一部は、載荷実験において確認された亀裂及び破断を考慮できるようにモデル化を行った。

各部品の接触条件を図-3に示す。六角ボルトとベースプレート間については、ネジ山により高い摩擦力で固定される部分は拘束し、拘束により過剰な力が発生することを避けるため、ベースプレート上部の要素 1 層と、その層に接する六角ボルトの要素 1 層とその上の 1 層は拘束せず、接触を定義し、摩擦係数は 0 とした。接触面積の大きい載荷治具とベースプレート間は載荷実験で測定した滑り摩擦力から算出した摩擦係数を用い、載荷治具とワッシャー間及び六角ボルトと隙間補正用要素間の摩擦係数は 0 とした。

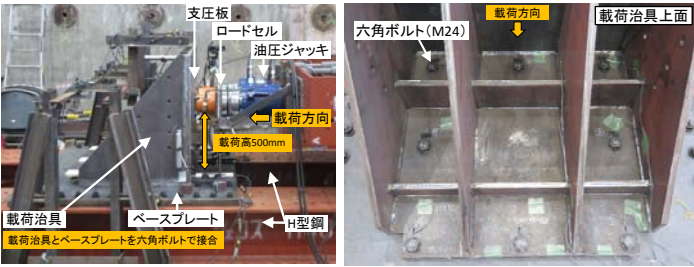


写真-1 載荷実験概要及び六角ボルト取付位置

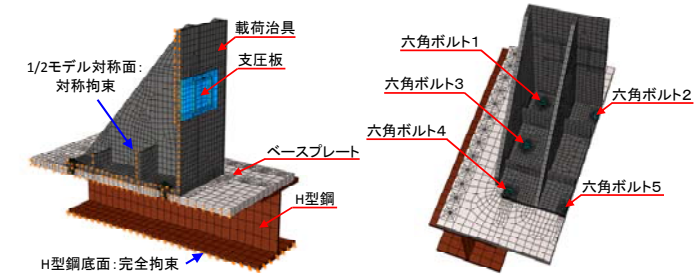


図-1 解析モデル概要

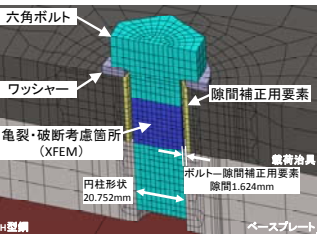


図-2 六角ボルト詳細

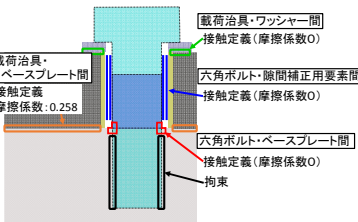


図-3 各部品の接触条件

表-1 材料物性値

部品	材料	密度 (g/cm ³)	ヤング率 (MPa)	ポアソン比
載荷治具、支圧板	SM490	7.85	199,800	0.2811
ベースプレート、H型鋼	S45C	7.85	199,800	0.2811
ボルト、ワッシャー	S45C	7.85	199,800	0.2811
隙間補正用要素	S45C(43.75%)	3.434	87,410	0.2811

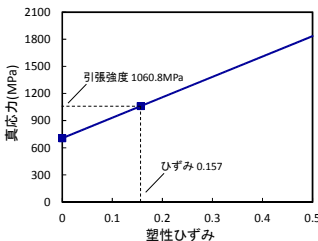


図-4 S45C 真応力-塑性ひずみ

キーワード 再現解析, 損傷制御, 支承, 六角ボルト

連絡先 〒305-8516 つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 03-3355-3442

各部品の物性値は表-1 に示す通りとし、六角ボルトとボルト穴の隙間補正用要素は、S45C の密度及びヤング率におねじの占有断面積を乗じた値を用いた。また、ボルト及びワッシャー材料の S45C は塑性を考慮し、図-4 に示す真応力-塑性ひずみを用いた。なお、値の設定にあたり、鋼材規格(JIS G4051)の S45C(焼入焼き戻し)の降伏応力、引張強度及び伸びを六角ボルトの引張強さの実測値から補正した値を用いた。

各六角ボルトに軸力を、解析モデル全体に重力加速度荷重 1G を負荷し、載荷治具の回転を妨げないように、支圧板に載荷方向の強制変位を与えた。

3. 再現解析結果

図-5 は、載荷実験³⁾と解析結果における載荷治具の水平変位と載荷荷重の関係を示したものである。水平変位及び載荷荷重の計測位置は図-6 に示す。実験及び解析ともに載荷荷重 100kN 付近で載荷治具とベースプレート間に滑りが生じ、水平変位が増加していることが分かる。実験では水平変位 1mm 付近から荷重が徐々に増加しているが、解析ではネジ山を簡略化したことから、六角ボルトと隙間補正用要素の隙間量 1.624mm 付近から荷重が増加していることが分かる。また、水平変位に対する荷重の増加割合について、水平変位

2mm 付近では解析の方が実験よりも増加割合が大きいことが分かる。これは、おねじの面積を考慮して設定した隙間補正用要素の物性値が実際のボルトよりも過大であるためと考えられる。最大荷重付近の増加割合は解析と実験で同程度であることから、六角ボルトの塑性化や亀裂、破断に関しては再現できていると考えられる。解析の最大荷重は実験値に対して 4%程度大きい値となっており、この時の水平変位は実験値に対して 20%小さい値となった。この点もネジ山の簡略化や、ベースプレートと H 型鋼を剛結としたことが影響していると考えられる。

次に、六角ボルトに作用する力の作用状況を確認するため、図-7 に示すように解析の最大荷重時における各六角ボルトの引張及びせん断荷重を整理した。荷重の算出は図-8 に示すように、載荷治具とワッシャー間、六角ボルトと隙間補正用要素間の接触力の和をとり、鉛直成分を引張荷重、載荷方向成分をせん断荷重とした。載荷点に近い六角ボルト 1, 2 では引張荷重が大きく、せん断荷重が小さいことが分かる。一方で、載荷点から遠い六角ボルト 4, 5 ではせん断荷重が大きく、引張荷重が小さいことが分かる。また、せん断荷重は載荷点からの距離に比例して大きくなる一方で、引張荷重は 3 列目のボルトには殆ど生じないことが分かる。なお、表-2 に示す通り、上述の方法で求めた六角ボルトのせん断荷重と、載荷治具とベースプレート間の載荷方向の摩擦力の合計は 1346kN であり、最大荷重と同程度の値であることから、各六角ボルトに生じるせん断荷重を表現できていると考えられる。

4. まとめ

本稿では、過去に実施した載荷実験の再現解析を行い、実験結果との比較を通して解析モデルの検証を行うとともに、六角ボルトに作用する力の作用状況を確認した。今後は、載荷実験の他のケースの再現解析を行い、載荷位置や方向等が耐力に及ぼす影響を整理することで、損傷制御型支承の具体化を図る。

参考文献 1)大住道生, 中尾尚史, 西弘明: 橋の損傷シナリオデザインによる超過作用への対応策の一提案, 日本地震工学会論文集, 2019. 2)森屋圭浩, 中尾尚史, 星隈順一: 津波の影響を受ける橋に対する損傷制御型支承の提案, 第 19 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. 511-518, 2016. 3)中尾尚史, 余野智哉, 大住道生: 支承に用いる六角ボルトを複数設置した場合の耐力に関する検討, 第 22 回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集, pp. 461-468, 2019.

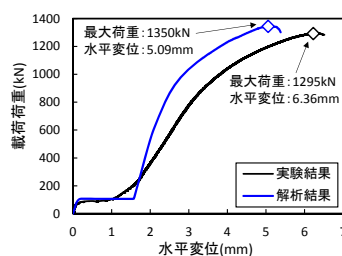


図-5 水平変位・載荷荷重関係

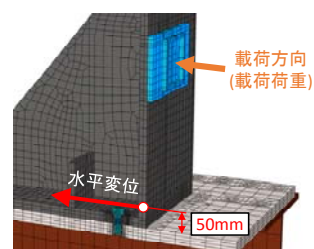


図-6 計測箇所(変位及び荷重)

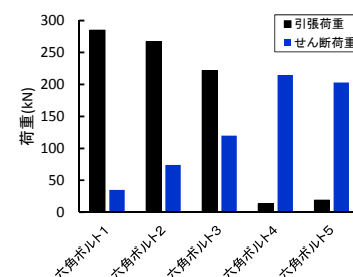


図-7 六角ボルトに作用する荷重(最大荷重時)

表-2 せん断荷重の合計

部品	せん断荷重 (kN)	備考
六角ボルト 1	35	
六角ボルト 2	74	
六角ボルト 3	120	
六角ボルト 4	215	
六角ボルト 5	203	
六角ボルト 1'	35	ボルト 1 の対称要素
六角ボルト 3'	120	ボルト 3 の対称要素
六角ボルト 4'	215	ボルト 4 の対称要素
摩擦力	329	(載荷治具とベースプレート間)
合計	1346	

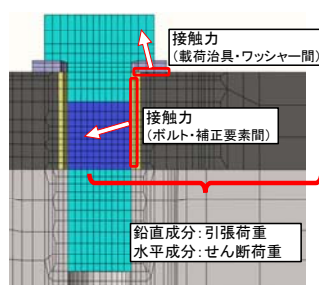


図-8 荷重算出方法