

高力ボルト摩擦接合継手のエネルギー吸収に関する解析的研究

九州工業大学 学生会員 ○谷井 健信 正会員 高井 俊和

1. 本研究の目的

構造物の耐震性を考えるとき、耐荷力だけでなくエネルギー吸収も考慮することによって耐震の面でより有利な設計が可能になると考えられる。また、高力ボルト摩擦接合継手の終局モードの違いによりエネルギー吸収の特性に違いがあると想定されるが、詳細は不明である。そこで、本研究は各終局モードにおけるエネルギー吸収に着目し、その特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験再現解析によるエネルギー吸収挙動の整合の取れた解析条件の確認

継手のエネルギー吸収特性を FEM 解析で検討するため、エネルギー吸収の観点からみた各破断モードの実験¹⁾²⁾との整合性から、より望ましい解析条件を検討した。

例として純断面破断の解析モデルを図-1に、真応力—真ひずみ関係を図-2に示す。応力—ひずみ関係は2次勾配まで考慮した。破断ひずみのモデル³⁾を図-3に示す。解析ケースは表-1に示すように6ケースを設定した。

解析プログラムは Abaqus standard 6.13 を使用し、解析モデルは対称性を考慮してすべり側の1/4をモデル化した。要素は6面体1次の8節点低減積分ソリッド要素(C3D8R)を用い、メッシュサイズを2mm程度とした。各対称面に対称境界条件を設定し、チャック部分に50mmの強制変位を加えて継手に引張荷重を与えた。母板・連結板、高力ボルトのヤング率とポアソン比はそれぞれ文献¹⁾²⁾の材料試験の値を用いた。損傷発展の破壊時の変位は繰り返し計算で整合性を考慮してボルトは1.4mm、母板・連結板は2.6mmと設定した。また、ボルト軸部に接触する孔壁の変形を抑えるため、ボルト・孔壁間の摩擦係数を母板・連結板間の摩擦係数の、ケース①～③は1/100、ケース④～⑥は1/5とした。

3. 解析結果

荷重—変位関係を図-4に示す。純断面破断のケース①、④はどちらも、最大荷重とその変位の整合性は高かった。しかし、ボルト破断と端抜け破断のケース②、③はどちらも、最大荷重のピークが得られず整合性は低かった。純断面破断は引張破断であるため断面積の減少によって荷重が低下するが、ボルト破断と端抜け破断はせん断破断であり、断面積の減少が小さいためだと考えられる。破断ひずみをモデル

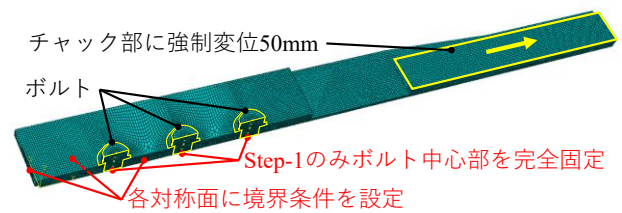


図-1 純断面破断の解析モデル

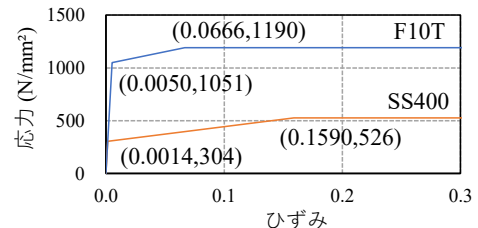
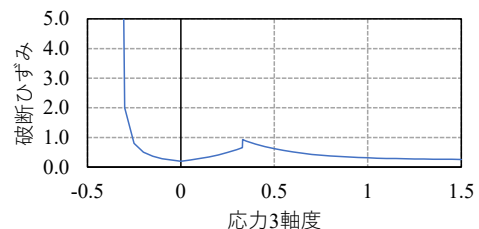


図-2 純断面破断の真応力—真ひずみ関係

図-3 破断ひずみ—応力3軸度関係³⁾表-1 解析ケース¹⁾²⁾

解析ケース	破断モード	金属材料の破断	
		考慮しない	考慮する
w/d7.5-t9-n3	純断面破断	①	④
w/d13.5-t19-n3	ボルト破断	②	⑤
e40-w150-T	端抜け破断	③	⑥

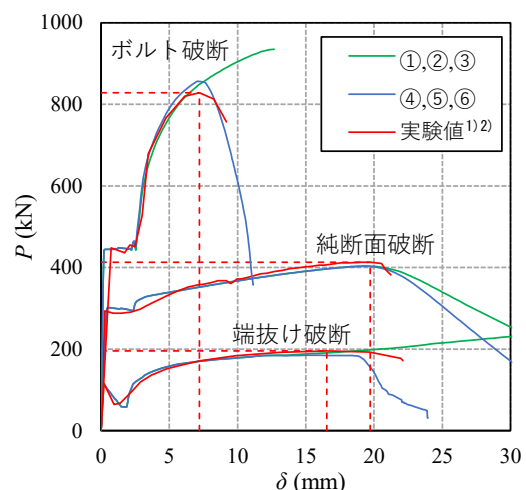


図-4 荷重—変位関係

ル化することで荷重のピークが再現され、エネルギー吸収の整合性も高くなった。

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, エネルギー吸収, 破断ひずみ, 破断モード, パラメトリック解析

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 建設社会工学科構造工学研究室 TEL 093-884-3123

4. パラメトリック解析の解析ケース

得られた解析条件を用いて、3つの終局状態におけるエネルギー吸収特性を解明することを目的に、パラメトリック解析を行った。解析ケースを表-2に示す。ボルト本数 n とすべり降伏耐力比 β をパラメータとした全12ケースを解析した。

各部材の鋼種はSM490Y, F10Tを想定し、材料特性は規格の下限値を用いた2次勾配までの応力-ひずみ関係を用いた。各対称面に対称境界条件を設定し、母板端に30mmの強制変位を加えて継手に引張荷重を与えた。母板・連結板、高力ボルトのヤング率は200,000(N/mm²)、ポアソン比は0.3とした。

5. 解析結果

各解析ケースの破断モードを表-2に示す。12ケースに3つの破断モードが含まれ、複合的な破断モードはなかった。一例として $n=3$ の荷重-変位関係を図-5に、最大荷重と最大荷重までのエネルギー吸収量を図-6に、各破断モードにおける部材ごとのエネルギー吸収の内訳を図-7に示す。

図-6より、各ボルト本数において β の減少に伴い最大荷重が増加した。また、純断面破断となったケースにおいて、 β の減少に伴ってエネルギー吸収量が増加した。図-5よりボルト本数が同じ場合、 β の減少に伴って最大荷重と最大荷重時の変位が増加するためである。また同じボルト本数であれば、端抜け破断、ボルト破断のケースは純断面破断のケースよりも最大荷重が大きくなったが、最大荷重時の変位は小さくなり、エネルギー吸収量も小さくなった。これは、純断面破断は引張破断であるのに対して、端抜け破断、ボルト破断はせん断破断であるため、変形量が小さいためであると考えられる。また、図-7より、端抜け破断のケースは連結板、ボルト破断のケースはボルト、純断面破断のケースは母板と、破断箇所のエネルギー吸収の割合が大きくなった。

以上より、同じボルト本数であれば、純断面破断が他2つの破断モードよりもエネルギー吸収の面で有利であり、純断面破断を示すうちであれば β が小さいほどエネルギー吸収量は大きい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 21K14233 の助成を受けたものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

1) 森山 仁志, 杉山 裕樹, 山口 隆司, 郎 宇: 板幅および板厚が高力ボルト摩擦接合継手の支圧限界状態に与える影響, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.74, No.1, pp. 28-43, 2018

表-2 解析ケース

$\beta \backslash n$	2(本)	3(本)	5(本)
0.45	2_045	3_045	5_045
0.6	2_06	3_06	5_06
0.9	2_09	3_09	5_09
1.2	2_12	3_12	5_12

破断モード
■ 純断面
■ ボルト
■ 端抜け

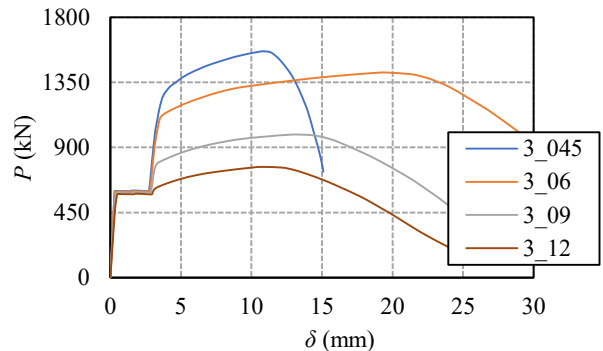


図-5 荷重-変位関係

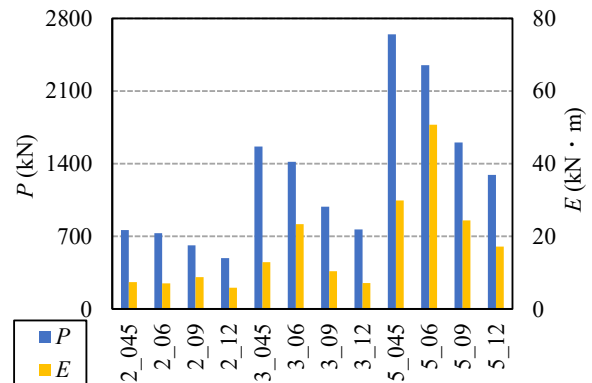


図-6 エネルギー吸収量

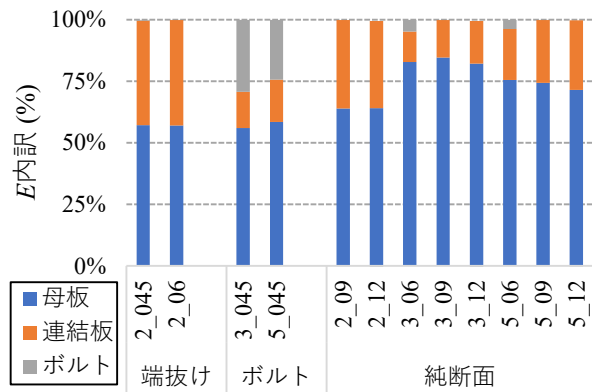


図-7 エネルギー吸収の内訳

2) 戸田 圭彦, 山口 隆司, 岑山 友紀, 直江 康司: 高力ボルト摩擦接合継手の孔変形に基づいた支圧耐力に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.70, No.3, pp. 333-345, 2014

3) Dongxu Li, Brian Uy, Jia Wang, Yuchen Song: Behaviour and design of Grade 10.9 high-strength bolts under combined actions, Steel and Composite Structures, Vol. 35, No. 3, pp.327-341, 2020