

当て板補修部の再現解析による応力-ひずみモデルに着目した解析条件の検討

九州工業大学 学生会員〇増留 蒼太

九州工業大学 正会員 高井 俊和

1. はじめに

鋼橋の劣化原因の1つに、鋼材に集中的に発生した錆が進行し鋼材の板厚減少が生じる腐食損傷がある。これに対し鋼橋の腐食欠損部に当て板を用い、断面の回復をはかる当て板補修が用いられる。しかし、耐震設計への関連が考えられる終局挙動やエネルギー吸収において不明な点がある。本検討では、当て板の引張実験の再現解析を実施し、応力-ひずみモデルに着目して解析条件を確認し、終局挙動やエネルギー吸収の観点から結果を確認した。

2. 材料特性の概要

応力-ひずみ関係のモデル化はトリリニア型、 n 乗硬化則を用いた。トリリニア型は降伏点、引張点、破断点の3次勾配までを考慮したものと、破断点を考慮しない2次勾配までとした。 n 乗硬化則は5点法、2点法、材料試験のくびれ発生条件をもとにした微分法を用いた。 n 乗硬化則とは応力とひずみの関係を、加工硬化指数 n を用いて表す。

$$\sigma = C\varepsilon^n \quad (1)$$

ここに、 σ ：応力(N/mm²)、 C ：強度定数(N/mm²)、 ε ：ひずみである。

5点法とは文献[1]より公称応力-ひずみ関係において引張強さ σ_T の値を真応力に変換したものからひずみ速度に到達した値 σ_s の間で適切に3点を取り、計5点で最小二乗法を使用して n 値を求める。

$$n = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (2)$$

2点法とは5点法で示した応力-ひずみの最小値 σ_s と最大値 σ_T を用いて n 値を求める式(2)。

$$n = \frac{\ln \sigma_T - \ln \sigma_s}{\ln \varepsilon_T - \ln \varepsilon_s} \quad (3)$$

微分法は引張強さにおいてくびれ発生時の応力と断面積の関係を式変形し n 値を求めた[2]。本検討では、応力-ひずみグラフの有無[3]より5点法は用いず、また2点法は塑性ひずみの開始点を降伏点で代用した。

3. 当て板モデルの再現解析による解析条件の検討

当て板の載荷実験[3]の再現解析を行い解析条件の検討を行った。試験体の材料特性について、母版、当

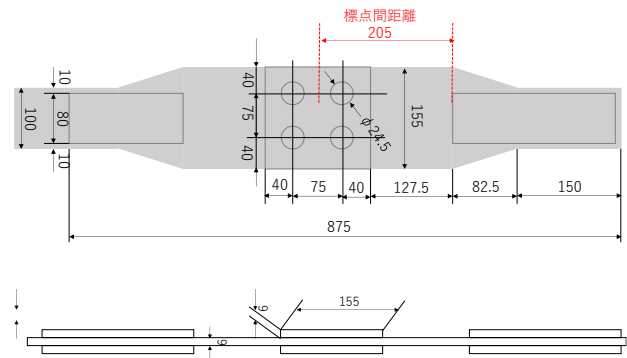


図1 試験体形および寸法[3]

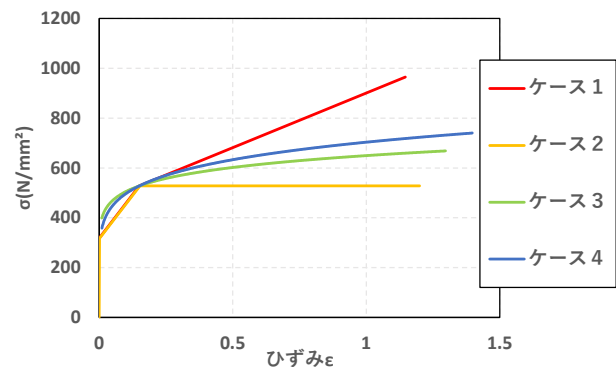


図2 各解析ケースの応力-ひずみ関係

て板の鋼種はSM400、ヤング率は 2.10×10^5 (N/mm²)、ポアソン比0.290、降伏点は316.7(N/mm²)、引張強度は453.1(N/mm²)となる。高力ボルトはF10T、文献[4]よりヤング率は 2.08×10^5 (N/mm²)、ポアソン比0.280、降伏点は1046(N/mm²)、引張強度は1114(N/mm²)とした。また部材間の摩擦係数はボルト-座金間で1、座金-母板間で0.01、母板-当て板間で0.45とした。

解析対象の当て板モデルの試験体形状および寸法は図1に、母版、当て板の材料特性は図2に示す。高力ボルト(F10T)の材料特性は母版、当て板と同様に行った。ケース1は3次勾配までを考慮したトリリニア型、ケース2は2次勾配までを考慮したトリリニア型、ケース3は2点法、ケース4は微分法とした。

解析プログラムはAbaqus Standard v6.13を用いた。材料非線形、幾何学的非線形を考慮した弾塑性FEM解析を、対称性を考慮した1/8モデルで実施した。要素については6面体1次要素の8節点低減積分要素

(C3D8R 要素)を用い、要素サイズは2.5mmで分割を行った。境界条件は各軸に対してそれぞれ対称条件を設定し、チャック部には20mmの強制変位を与えた。

4. 解析結果

実験値および解析により得られた荷重P-変位δ関係を図3に、エネルギーE-変位δ関係を図4に示す。当初のケースのみでは解析結果と実験値との差が大きかったことから、最も整合性の高かった2次勾配までを考慮したトリリニア型(ケース2)について文献[5]より摩擦係数を変化させて得た解析結果を併載している。

実験値と比べ、すべての解析ケースで荷重、エネルギーともに大きい結果となった。特にケース3、ケース4は実験との変位の差に比べ荷重の差は約2倍となった。またどのパターンも最大荷重の変位が実験値と比べ大きくなっており、そのため図4より最大荷重時までのエネルギー量が大きくなった。追加で行った摩擦係数を変化させたパターンは摩擦係数を低下させるにつれて最大荷重とその際の変位は小さくなり、実験値より小さい結果となったケース2-1/4まで行った。

図3および表1から摩擦係数を低下させるにつれて荷重-変位関係の整合性は向上し、最大荷重時のエネルギー量も実験値に比べおおむね一致する結果を得られた。

図3において初期剛性から剛性が大きく低下した領域において、解析結果の荷重が実験結果よりも高くなった。これは、本解析で使用した摩擦係数では適切にモデル化できていないためと考えられる。しかしながら、摩擦係数を調整したケース2-1/4では実験と解析との整合性が高くなった。

以上の結果より、本検討の当て板の再現解析において、ケース2-1/4である材料特性は2次勾配までを考慮したトリリニア型で、母版一当て板間の摩擦係数を1/4に低減することで実験との整合性が高い結果が得られることを確認した。

謝辞 本研究はJPSP 科研費 JP21K1423 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] 日本規格協会：JIS Z2253(薄板金属材料の加工硬化指数試験方法)，2015年10月20日
 [2] Takai toshikazu, Tanii kennshin：Corrected simple modelling of tri-linear true stress-true strain relationship for structural steel, Proceedings of the 7th World Multidisciplinary Civil Engineering Architecture Urban

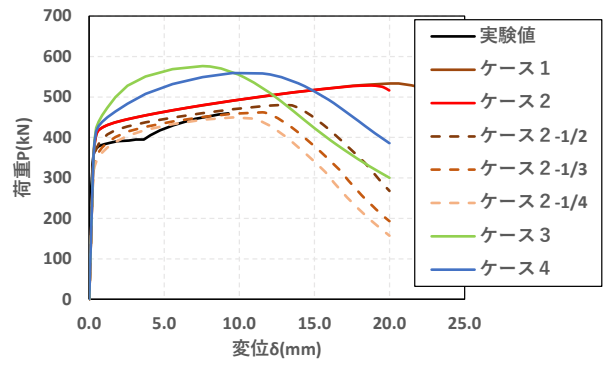


図3 各解析ケースの荷重P-変位δ関係

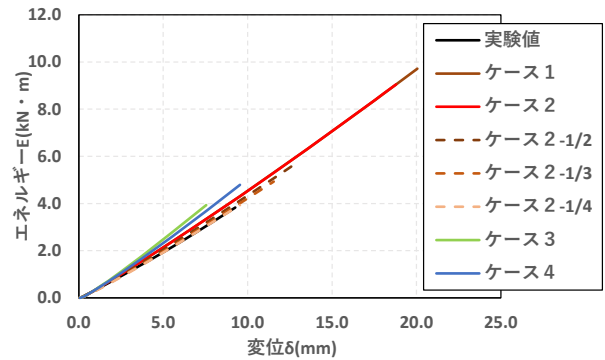


図4 各解析ケースのエネルギーE-変位δ関係

表1 各解析ケースの比較

	解析結果			材料試験結果との比較		
	最大荷重 (kN)	エネルギー (kN・m)	変位(mm)	最大荷重比	エネルギー比	変位比
実験値	459	3.83	9.27	1	1	1
ケース1	533	9.72	20.0	1.161	2.539	2.163
ケース2	528	9.05	18.8	1.150	2.364	2.028
ケース2-1/2	480	5.80	13.1	1.046	1.516	1.411
ケース2-1/3	462	4.93	11.5	1.006	1.288	1.246
ケース2-1/4	449	3.93	9.55	0.978	1.026	1.030
ケース3	901	3.93	7.22	1.962	1.027	0.778
ケース4	937	4.79	8.41	2.038	1.251	0.908

Planning Symposium (WMCAUS 2022), 10p., 2022.9
 [3] 神野 巧矢, 山口 隆司, 小笠原 照夫, 内田大介, 森山 仁志, 網谷 岳夫：引張荷重作用下で施工された高力ボルト摩擦接合当て板の力学的挙動，構造工学論文集 A, Vol. 66A, pp.466-474, 2020.3
 [4] 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, Vol.74, No.1, pp.28-43, 2018
 [5] 高井 俊和, 中村 悠紀：母材の引張降伏に着目した高力ボルト摩擦接合継手のすべり後の荷重伝達特性，土木学会論文集 A1, Vol. 76, No. 2, pp. 401-410, 2020.8