

肉盛溶射により接合された補剛板の圧縮挙動に関する数値解析的検討

京都大学大学院 学生会員 ○堀澤 英太郎
京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征, 北根 安雄, 五井 良直

1. はじめに

肉盛溶射は、基材に対して溶融金属粒子を吹き付けて皮膜を形成する溶射を用いて、厚さ数ミリの肉盛を形成する技術である。溶射の施工では基材への入熱を 100 度以下に抑えることができるため、入熱による変形が大きいステンレス鋼の補強や接合といった用途に肉盛溶射の適用が期待できる。本研究では、肉盛溶射を用いた構造の挙動に関する基礎的な知見を得ることを目的に、補剛材が肉盛溶射で接合された補剛板の圧縮挙動を有限要素解析により調べた。

2. 数値解析手法

対象とした構造は単リブ補剛板であり、数値計算モデルとその境界条件を図 1 に示す。荷重辺が固定支持、非荷重辺が単純支持される補剛板を対象として、板パネルおよび補剛材に加えて、これらを接合する肉盛をモデル化した。荷重方向に対称であるとして二分の一モデルとし、荷重辺の強制変位により圧縮負荷を与えた。補剛板の寸法は、板パネルの板厚を 9 mm、板パネルおよび補剛材の幅厚比パラメータを 0.5、道路橋示方書¹⁾で規定される補剛材剛比と必要剛比の比 (γ_l/γ_{lreq}) を 1 または 2、補剛板の縦横比を 3 として決定された。肉盛の寸法は、サイズ 6 mm の直角二等辺三角形とした。

板パネルおよび補剛材を構成する材料はステンレス鋼 SUS304 とし、肉盛の材料は溶射材料として一般的なマルテンサイト系ステンレス鋼 SUS420J2 とした。本研究で用いた材料の真応力－塑性ひずみ関係および機械的性質を図 2 および表 1 に示す。溶射で形成される肉盛は、引張では脆性的、圧縮では延性的な挙動を示すが、本研究では材料の圧縮試験結果に基づく等方性を仮定した。

肉盛と板パネルおよび補剛材の接合には、剥離を考慮する接触条件として粘着挙動を導入した。既往の溶射皮膜の付着力試験結果を参考に、表 2 に示す 2 ケースの付着強度を対象とし、剥離の発生基準は二次応力基準を用いた。脆性的な剥離を模擬するため、損傷の発展則は試行的に損傷発生後の分離量が 0.001 mm のとき応力が 0 となる線形とした。

数値計算モデルの初期不整として初期たわみを考慮した。その形状は、線形座屈解析により得られた最低次の

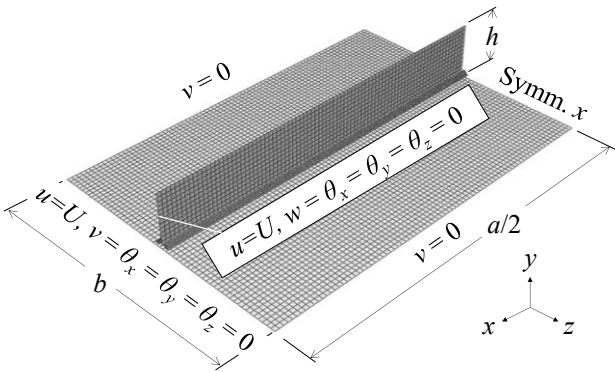


図 1 補剛板の数値計算モデル

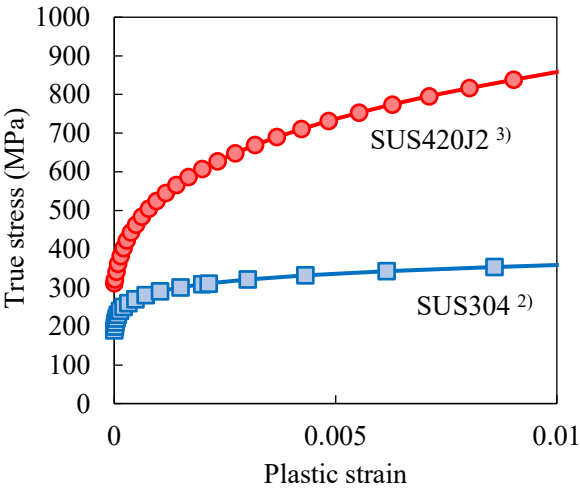


図 2 対象材料の真応力－塑性ひずみ関係

表 1 対象材料の機械的性質

	E (GPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	ν
SUS304 ²⁾	196	190	308	0.28
SUS420J2 ³⁾	65	311	587	0.15

キーワード 溶射, 補剛板, ステンレス鋼, 有限要素解析, 接合
連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-3-257 TEL 075-383-3164

局部および全体座屈モードを、最大値が道路橋示方書の許容値に対して 0.1, 0.5, 1.0 倍となるように与えた。以上の数値計算モデルを、板パネルおよび補剛材を 4 節点低減積分シェル要素 (S4R) で、肉盛を 8 節点低減積分ソリッド要素 (C3D8R) でメッシュ分割し、Abaqus 2020/standard を用いて有限要素解析を行った。

3. 数値解析結果

肉盛溶射で接合された圧縮補剛板の荷重－変位関係の一例を図 3 に示す。図中の破線は、接合部を完全結合とした場合 (D=1.0) の数値計算結果である。弾性域では、剥離を考慮した数値計算モデルも結合モデルと同様な曲線を描きながら荷重が上昇することが確認できる。その後、肉盛の剥離に伴い荷重低下が発生した。図 4 は、本研究で対象とした補剛板の荷重－変位関係から得られた最大圧縮荷重を示す。ここで縦軸は、各補剛板の最大圧縮荷重を同じ初期たわみを有する結合モデルの最大圧縮荷重で無次元化した。初期たわみの倍率が 0.1 の場合、いずれの補剛板も最大圧縮荷重は結合モデルの 90%以上を示した。また、肉盛溶射で接合された補剛板の最大圧縮荷重は、初期たわみ・補剛材剛比が大きいほど、付着強度が小さいほど、小さくなった。補剛材剛比の影響については、補剛材が剛になるほど補剛材と板パネルの相対変形が大きくなることで、接合部に発生する応力が大きくなるためであると考えられる。肉盛溶射で接合された補剛板の変形モードの一例を図 5 に示す。荷重の上昇に伴い肉盛の剥離が発生・進展していき、剥離した領域が広がった後に補剛材のみが座屈を生じることが確認された。

4. おわりに

肉盛溶射の新たな利用方法の一つとして肉盛による接合を考え、肉盛溶射で接合された補剛板の圧縮挙動を数値計算により調べた。今後は施工試験による実現性の検討や、補剛板の圧縮試験による数値計算モデルの妥当性の検証が必要である。

参考文献

1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編，丸善出版，2019。
2) 堀澤英太郎，杉浦邦征，北根安雄：リーニ二相系ステンレス鋼平滑母材の疲労強度に関する研究，日本鋼構造協会鋼構造論文集，Vol.28，No.111，pp.107-117，2021。
3) E. Horisawa, K. Sugiura, Y. Kitane, Y. Goi, T. Tanimoto, M. Matsumura: Mechanical properties of stainless steel coatings formed by build-up spraying, Proceedings of the Eighth International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, pp.1385-1390, 2022.

表 2 本研究で対象としたパラメータ

γ/γ_{treq} (S)	付着強度 (C) 法線 - 接線方向	初期たわみの 倍率 (D)
1	5 (5 MPa - 25 MPa)	0.1
2	10 (10 MPa - 50 MPa)	0.5
		1.0

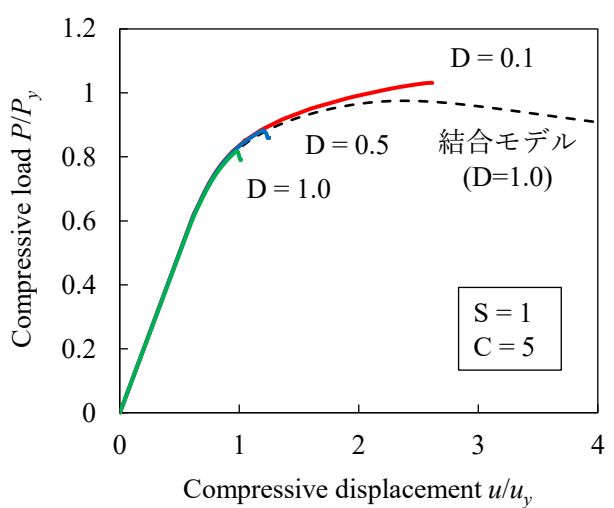


図 3 荷重－変位関係

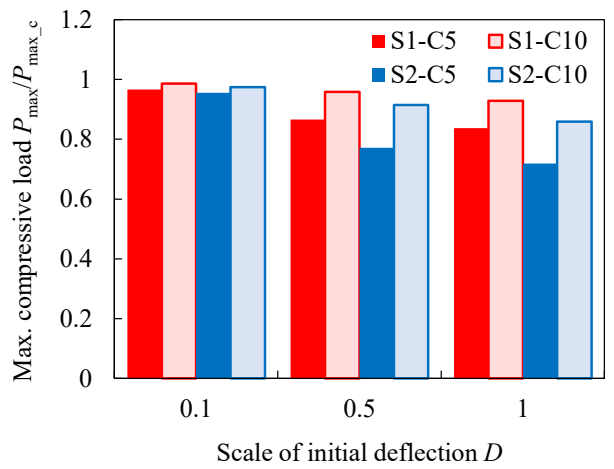


図 4 補剛板の最大圧縮荷重

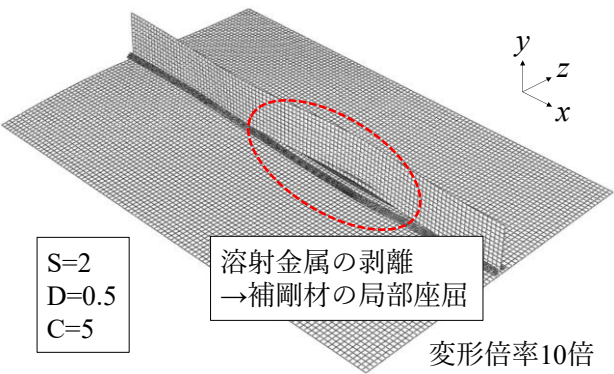


図 5 最大圧縮荷重時の変形モード