

第 I 部門

薄膜多層構造を有する塗装系のヤング率測定に関する基礎実験

京都大学大学院 学生員 ○高橋 みのり

土木研究所 正会員 富山 禎仁

京都大学大学院 正会員 佐藤 顕彦

ショーボンド建設株式会社 正会員 木田 秀人

京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. はじめに

鋼橋の防食に広く用いられる塗膜は、防食性能の維持のため、外観調査、計器測定、機器分析といった塗膜調査を行い、劣化を定量的に評価する必要がある。しかし、外観調査では近接目視による点検が主流で、主観的な判断に頼る面が大きい。そこで、本研究では薄膜構造の品質評価方法であるナノインデンテーション法に着目し、薄膜多層構造を有する C-5 塗装系を対象として、定量的かつ非破壊的に塗膜のヤング率の測定を試みる。

2. ナノインデンテーション法の原理

ナノインデンテーション法では、図-1 のように、圧子を試験体に対して一定の荷重荷速度で押し込み、その後一定速度で除荷することで、図-2 のような荷重変位曲線を得る。この除荷曲線の勾配から接触剛性を算出し、接触深さ h_c および既知のパラメータからヤング率を推定する。

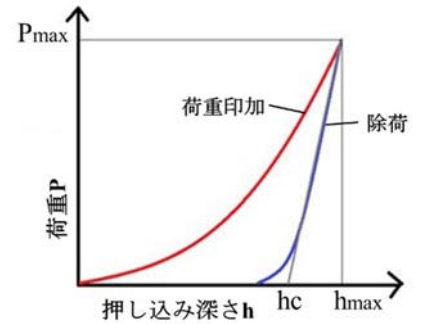


図-2 荷重変位曲線

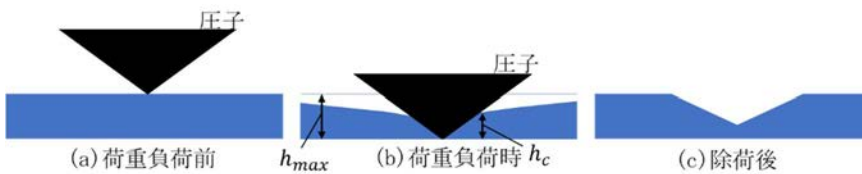


図-1 圧子押し込み時の様子

3. ナノインデンテーション法による C-5 塗装系のヤング率測定実験

3.1 試験体概要

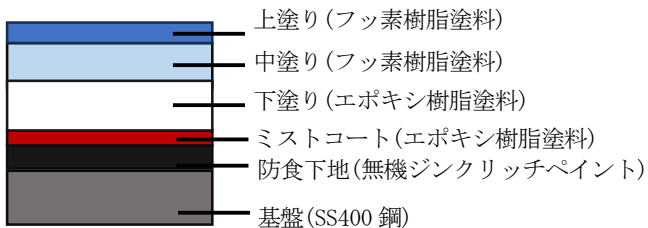
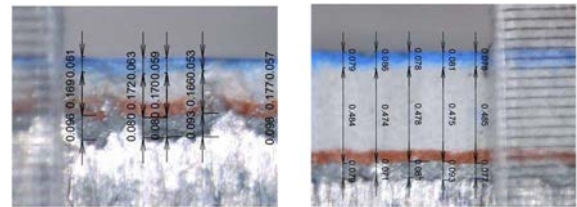


図-3 C-5 塗装系の構成図



(a)A の断面図

(b)B の断面図

図-4 断面図

本研究では基盤に SS400 を用いた C-5 塗装系を対象とした。図-3 に C-5 塗装系の構成、図-4 に断面図を示す。試験体は両面塗装を有する 15 cm 四方の鋼板から、3cm 四方に切り出し作成した。試験体は 5 つ作成し、No.1~No.5 と番号を付けた。光学顕微鏡で撮影した断面図を Auto CAD に取り込み、基盤と各層ごとの膜厚を測定した。断面観察からエポキシ樹脂層の膜厚に差があることを確認したため、薄面を A 面、厚面を B 面として区別した。なお、A 面にのみブラスト加工が施されており、両面で鋼板の表面粗さに差が見られた。

3.2 荷重方法

荷重にはナノインデンテーション試験機（株）エリオニクスの ENT1100-a を使用した。まず、荷重荷重の影響を検討するため、No.1 に対して 1 mN、10 mN、100 mN、200 mN の荷重を A 面、B 面各 10 点ずつ荷重した。No.2~No.5 に対しては 100 mN の荷重を A 面、B 面の各 10 点ずつ荷重した。試験状況を図-5 に示す。



図-5 試験状況

Minori TAKAHASHI, Akihiko SATO, Kunitomo SUGIURA, Tomonori TOMIYAMA, Hideto KIDA

Takahashi.minori.62z@st.kyoto-u.ac.jp

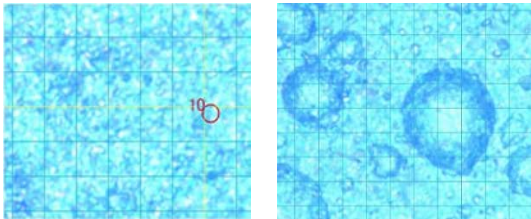
4. 実験結果および考察

4.1 押し込み荷重の影響

No.1 で測定されたヤング率を表-1 に、両面の状態を図-6 に示す. A 面と B 面では表面状態に大きな差があり, B 面では表面にふくれが見られた. 表-1 から B 面の変動係数が A 面と比較して大きい, これは表面状態の違いが影響していると考えられる. また, B の 1 mN の結果を除き, A 面のほうがヤング率は大きくなったが, 膜厚の差が表面状態の差かは不明である. 押し込み荷重とヤング率の関係を図-7 に示す. A 面は相関係数が大きく, 強い相関があるといえるが, B 面は押し込み荷重とヤング率との関係性は見られなかった.

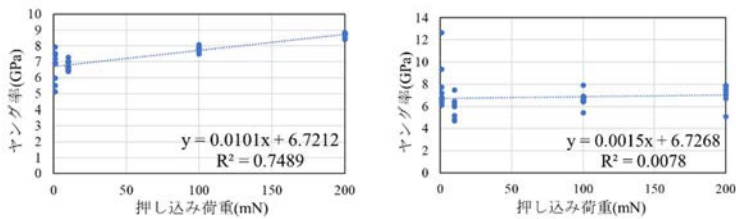
表-1 No.1 から得られたヤング率

Load	A		B	
	Mean (GPa)	CV	Mean (GPa)	CV
1mN	6.44	0.136	7.60	0.265
10mN	6.77	0.044	5.94	0.142
100mN	7.80	0.020	6.67	0.091
200mN	8.70	0.015	7.17	0.122



(a) A の表面 (b) B の表面

図-6 No.1 載荷位置の表面状態



(a)A の関係図 (b)B の関係図

図-7 押し込み荷重とヤング率の関係図

4.2 複合測による理論値との比較

複合則 (式(1)) を用いて, 基盤を含めた試験体全体のヤング率を推定した. ここで, E_T は全体のヤング率, E_k は各層のヤング率, L は全体の膜厚, L_k は各層の膜厚の実測値である.

$$\frac{1}{E_T} = \sum \frac{L_k}{E_k L} \quad (1)$$

複合則を用いて推定した値 (Est) と, 実験で得られた値 (Exp) の比較を以下の表-2 に示す. A 面, B 面どちらにおいても推定値より実験値のほうが小さい値であった. これは, 複合則では基盤の鋼板厚を全て含めて計算したが, 実験では鋼板厚全ての影響を受けていないことが考えられる. また, A 面の差が B 面に比べて大きくなった原因としては, A 面に対して施されていたブラスト加工により, 基盤厚や塗装系各層の厚さが均一でなくなったことが考えられる.

表-2 ヤング率の推定値と実験値の比較 (単位: GPa)

No.	Side A			Side B		
	Est	Exp	Est - Exp	Est	Exp	Est - Exp
1	13.0	7.80	5.20	7.83	6.67	1.16
2	10.3	8.06	2.24	8.71	6.75	1.96
3	9.91	7.89	2.02	8.39	6.89	1.50
4	10.3	7.91	2.39	7.62	6.06	1.56
5	11.6	7.67	3.93	8.12	7.46	0.66

5. まとめ

本研究ではナノインデンテーション法を用いて C-5 塗装系のヤング率を測定した. ナノインデンテーション法は表面の状態, 押し込み荷重に影響を受け, 表面が均一である A 面ではヤング率と押し込み荷重の間に強い相関があることが分かった, A 面と B 面のヤング率の差の要因は膜厚か表面の状態かはわからなかった. 推定値と実験値の間の差の原因としては, ナノインデンテーション法の影響深さが分かっていないこと, ブラスト加工により, 基盤厚および塗装の層厚が均一でなかったことが考えられる.

参考文献

1) 日本鋼構造協会: 鋼構造物塗膜調査マニュアル, JSS, IV, 2018.3.