

○日本鋼管㈱ 正員 植村 俊郎
 本州四国連絡橋公団 正員 下川 浩資
 本州四国連絡橋公団 正員 奥川 淳志

1. まえがき

本四連絡橋における吊橋塔柱の継手部は、圧縮力の50%を高力ボルト摩擦接合、残り50%を母材のメタルタッチにより伝達するものとして設計している。これを反映して、製作・架設に対し表-1に示す精度基準を定めているが、基準値は単に精度としての意味だけでなく、継手部の強度に影響を及ぼす力学パラメータとして重要な意味を持つにもかかわらず、従来ほとんど力学的検討がされないまま工事に適用されている。

この報告は、基準値の一つであるメタルタッチの定義を示す、すきま g_i （以下先端すきまと言う）に着目したもので、継手部が圧縮力を受けたとき、 g_i が添接板応力と継手全体の母材圧縮変形量に及ぼす影響を、母材が単独で荷重に耐える場合と対比しながら実験と数値解析により調べ、 g_i を見直す上での定量的資料を与えたものである。

2. 実験方法

供試体の形状は継手部の設計方法に従い、図-1に示すように3.6mm厚の母材を9mm厚の二枚の添接板ではさみ（材質SM50）、高力ボルト（M20, F11T）で摩擦接合したものである。メタルタッチ部の母材先端は、タッチ部とノータッチ部を70mmピッチで板幅方向に等間隔に設けた。供試体の種類は、板幅方向に一樣に設けた先端すきま g_i を、現行の精度基準に従ったものを含め、0.0~0.14mmまで数種変化させた。荷重増加により g_i が閉じたときのタッチ率は50%で、このときノータッチ部のすきまは1mmである。従って、精度基準で示す最大すきまに相当するすきまは、1mm以上の比較的大きなすきまになっている。

測定項目は、鋼板表面の軸方向圧縮ひずみ（図-1の△、▲、◆印）および母材の軸方向圧縮変形量（○、●印）とし、継手の設計荷重383tをやや越える荷重まで圧縮載荷した。

3. 実験結果と考察

(1) 継手全体の圧縮変形挙動

変形量を測定した添接板をはさむ母材の、軸方向540mm区間の荷重-変形曲線は、図-2に示すように非線形である。図中 K_i は、荷重-変形曲線の勾配を示し、ここでは剛度と呼ぶことにする。

K_1 は、母材がまだ圧縮力の伝達に直接寄与していないタッチ前の剛度を示し、母材単独の剛度 $K_0=784\text{ t/mm}$ の1.0~1.3倍大きい。 P_2 は、 g_i が閉じ母材がタッチした荷重を示し、 g_i に比例して大きくなる。 P_2 付近での挙動が非線形なのは、たとえ g_i がゼロになっても完全な面タッチではなく、微細な凹凸が存在したり片当り状態になっているため、タッチが徐々に進行するからと考えられる。 K_3 は、 g_i が閉じ母材が力伝達に直接寄与するようになったタッチ後の剛度を示し、 K_0 の1.1~1.4倍大きく、変形が抑制される。 K_4 は、設計荷重またはこれを越える荷重領域における剛度を

表-1 メタルタッチの精度基準¹⁾

メタルタッチ率	50%以上
メタルタッチの定義	0.04mm厚スキマゲージが停止すること
最大すきま	0.2mm
表面粗さ	12s以下
端面直角度	20°以下

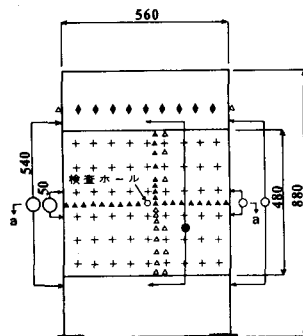


図-1 実験供試体

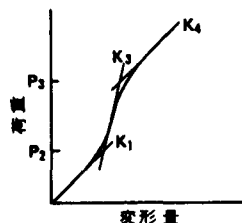


図-2 荷重-変形曲線

示し、 K_3 より小さく母材単独の場合とほぼ等しい。 K_4 が開始する荷重 P_3 は、200～400 tにばらついており g_i との相関は不明確である。

図-3は、設計荷重が作用したときの継手全体の变形量 δ と先端すきま g_i の関係を示す。ばらついたデータであるが g_i が大きいほど δ も増大する傾向にあり、直線近似すると次の実験式を得る。ただし、 $g_i = 0$ のデータは、 g_i の測定信頼性が低いので除外した。

$$\delta = \delta_0 + \alpha g_i \quad \text{ただし、} \delta_0 = 0.38 \text{ mm}, \alpha = 0.73 \quad (1)$$

式(1)の δ_0 は、母材先端にすきまが無い場合の变形量を意味するが、母材単独の变形量 $\delta_B = 0.488 \text{ mm}$ より小さいことから、添接板は母材の变形を抑制する補強材としての効果を有すると考えられる。 α が1.0より小さいことは、 g_i がそのまま变形量の増加に結び付かないことを示しており、变形の増加度合いをあらわす物理的意味に留意すべきである。

δ_0 や α は高力ボルト摩擦継手の力学・構造特性を反映する量であるから、単純に定式化できるものではないが、式(1)は継手全体の圧縮变形量が、 g_i をパラメーターとして線形的に表現できることを示しており、 g_i の許容値を検討する上での定量的資料を与えるものとする。

(2) 添接板の応力

添接板のひずみは、 g_i が存在する軸方向中央部で最大となり、荷重一ひずみ曲線は図-2と同様のパターンである。図-4は、設計荷重時の応力 σ_s と g_i の関係を示す。 g_i が現行の精度基準に示す0.04 mm程度の場合、材質SM50の圧縮許容応力またはそれをやや越える応力となる。 g_i が大きくなると σ_s も増大するが、 g_i が0.15 mmより小さければ規格で示す降伏応力には達しない。

4. 数値解析

圧縮力の伝達と変形特性の把握を主眼とし、継手部を図-5のようにモデル化した。すなわち、母材と添接板を圧縮変形に関し等価なばねに置換し、接合部のせん断変形特性を代表する結合ばね K_f により両者を結合した。供試体の諸元を用いた計算結果から結合ばねの伝達力 X_i は、タッチ前、引張載荷の場合と同様に継手端部と中央部に集中するが、タッチ後は端部に集中し、この種の継手における力の伝達機構の特徴と言える。無次元化した結合ばね比 S (S が大：母材と添接板の結合度合いが強固、 S が小：接合面がせん断変形しやすい)をパラメーターとすると、継手全体の圧縮変形剛度比 $k = K_i/K_0$ は図-6の性状を示す。

荷重の増加により図の矢印に沿って k が変化し、これに対応した変形をするので、挙動が非線形になるものと考えられる。実験値の k は図の斜線の範囲にあり、これを用いて解析結果から g_i をパラメーターとして継手全体の变形 δ を計算すると、図-3の破線のように実験式と良く一致し、モデル化の妥当性を確認した。

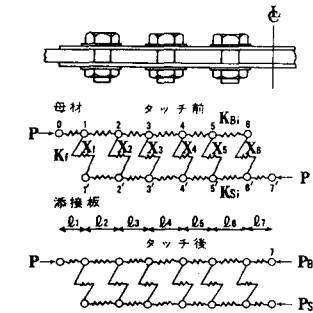


図-5 継手部の解析モデル

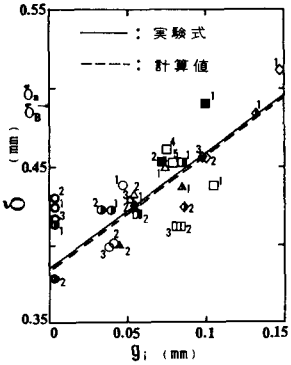


図-3 変形と先端すきまの関係

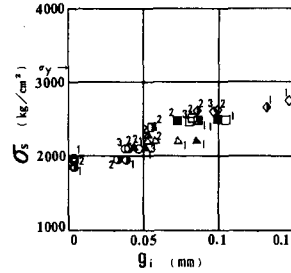


図-4 添接板応力と先端すきまの関係

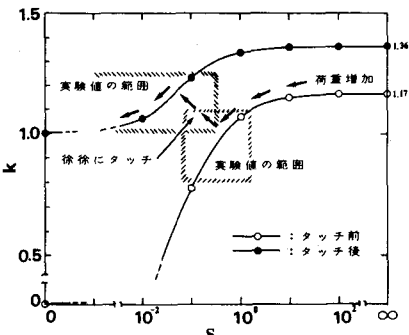


図-6 圧縮変形剛度比の解析結果

参考文献 1) 竹内・池田：因島大橋塔工事施工報告，本四技報，Vol.4，NO.14，1980年10月