

京都大学大学院 学生員○鹿島 孝之 京都大学工学部 正 員 渡邊 英一
 (株)神戸製鋼所 正 員 橋田 芳郎 京都大学工学部 正 員 古田 均
 京都大学工学部 正 員 杉浦 邦征 京都大学工学部 正 員 宇都宮智昭

1. 研究目的

本研究はケーブル定着部でのケーブル抜け出し挙動の解明を目的とする。最も基本的なソケット形式として亜鉛・銅合金鑄込み定着を取り上げ、引き抜き载荷実験により鋼索線および鑄込み合金間の付着特性を明らかにする。また付着特性に対し簡易力学モデルを適用し、設計に必要な付着強度を算出する。

2. 载荷実験

本载荷実験においては図1 に示すような付着長の異なった短い鋼索線を回りから亜鉛・銅合金で円筒状に鑄込んで定着した供試体を5体製作した。なお、素線部分は明石海峡大橋で実際に用いられるケーブルのワイヤφ5.23 (メッキ厚含む) の鋼線を、鑄込み金属には亜鉛98%・銅2%の合金を用いた。これらの供試体に対して、図2 に示すような実験装置を用いて変位制御の単調引張载荷実験を行った。

3. 実験結果と考察

载荷実験により得られた引き抜き力-抜け出し変位曲線の一例を図3 に示す。各供試体に共通して、引き抜き耐力点に達するまで荷重-変位関係はほぼ線形の関係にある。その勾配は2段階に変化しているが、载荷初期の段階では鑄込み金属と素線、測定治具の間で接触面の均一化が進み、ある程度の変形を生じた後本来の引き抜き力と抜け出し変位関係が得られると思われる。この2段階目の勾配は付着長に関係なく各供試体とも引き抜き耐力点までほぼ一定で、引き抜き力と抜け出し変位間の付着せん断剛性と考えられる。破壊が生じた後、耐力は著しく低下するが残存付着は存在しており、付着長の短いS-30で最大耐力の40%程度、付着長の長いS-90で80%程度の残存付着が確認された。その後抜け出しが進行しても引き抜き耐力はほぼ一定となっている。また、図4 に抜け出し変位-引き込み変位曲線の一例を示す。最大耐力点以後、それぞれの変位増分はほぼ等しくなっている。最後に、引き抜き耐力と付着長の関係を文献1)の結果も併せて図5 に示す。付着長の異なる供試体の引き抜き耐力は、多少の減少がみられるものの、付着長に依存せずほぼ一定と考えることができる。このパラッキは、鋼索線の鑄込み状態が付着全長にわたって一様でないことによるとと思われる。

供試体名	付着長L	素線径
S-30	30	5.23
S-40	40	5.23
S-50	50	5.23
S-70	70	5.23
S-90	90	5.23

単位 (mm)

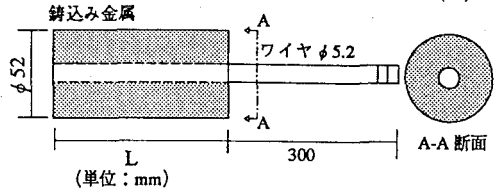


図1 供試体の形状

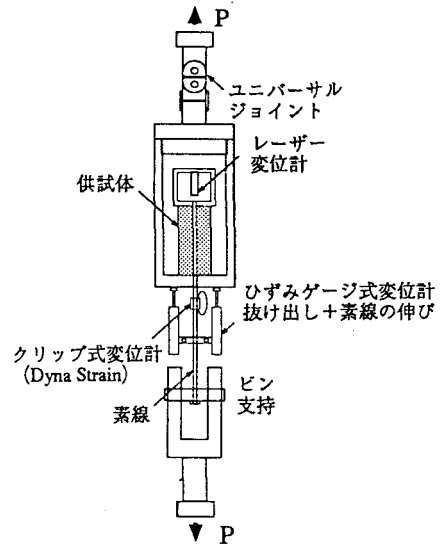


図2 実験载荷装置の概要

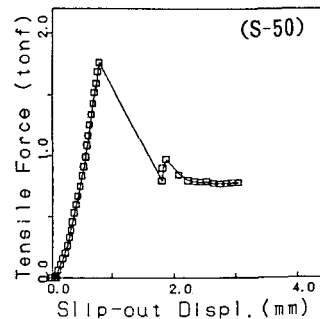


図3 引き抜き力-抜け出し変位の関係

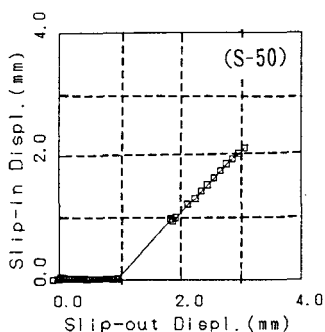


図4 引き込み変位-抜け出し変位の関係

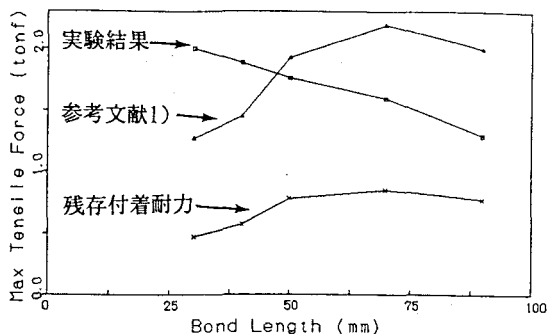


図5 引き抜き耐力-付着長の関係

4. 付着モデルのパラメータ同定

付着特性に対し2, 3の簡易力学モデルを適用し数値シミュレーションを行った結果, 素線と鑄込み金属間のせん断応力 τ と素線変位 u の関係を図6のように仮定した弾性破壊モデルによる抜け出し挙動が実験結果と非常に類似していることがわかった. ここでは弾性破壊モデルの2つのパラメータ, 付着せん断剛性 G^* および降伏付着せん断応力 τ_y を実験結果に基づき, 算定を試みる. 弾性破壊モデルに基づく引き抜き力-抜け出し変位関係を特徴づけるものは, 初期剛性 k_0 および最大引き抜き耐力 P_{max} である. それぞれ次式で表される.

$$k_0 = k_0(G^*) = \alpha \cdot A \cdot E \frac{e^{\alpha L} - e^{-\alpha L}}{e^{\alpha L} + e^{-\alpha L}} \quad P_{max} = P(G^*, \tau_y) = \alpha \cdot A \cdot E \frac{\tau_y}{G^*} \quad \alpha^2 = \frac{\pi D}{AE} G^*$$

ここで, A , E , L および D はそれぞれ素線の断面積, 素線の弾性係数, 付着長および素線の直径である. 付着長の異なる5体の供試体の実験結果を参考として, $k_0 = 2500(\text{kgf/mm}^2)$, また引き抜き耐力に関しては付着長が大きくなるに従って微減しているが, $P_{max, exp} = 1600(\text{kgf})$ として考慮する. これらの値を用いて G^* , および τ_y を推定すると以下のような値が得られた.

$$G^* = 3.369 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \quad \tau_y = 1.088 \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \quad \text{note: } 1(\text{kgf/mm}^2) = 10\text{M(Pa)}$$

この弾性破壊モデルに基づく $L \geq 2(\text{mm})$ で最大引き抜き耐力は $P_{max} = 1.6(\text{tonf})$ が得られる. しかし付着長を大きくしても耐力は向上しないため, 鋼素線一本の破壊強度 $3.9(\text{tonf})$, $\sigma_u = 180\text{kgf/mm}^2$ に対し設計張力は0.41程度とする必要がある.

5. 結論および今後の課題

- 1) 付着長の異なる供試体の引き抜き耐力は多少の減少はみられるが, 付着長に依存せずほぼ一定となった.
- 2) 載荷実験から得られた各供試体の引き抜き力と抜け出し変位の関係から素線と鑄込み金属間の付着せん断剛性, 降伏付着せん断応力を決定することができた.
- 3) このような脆性的な破壊挙動では, 境界面における垂直応力がせん断耐力を左右する(摩擦の垂直応力依存性). したがって, 今後垂直応力をパラメータとして引き抜き耐力がどのように変化するか検討する必要がある.

参考文献

- 1) (株) 神戸製鋼所・神鋼鋼線工業(株): 亜鉛鑄込みソケット部のワイヤー抜け出し載荷実験報告書, 1990