

## V-16

## ケミカル継手に関する引張り実験

北海道大学 学生員 青 野 正 志  
 北海道開発局 正 員 山 口 登美男  
 開発土木研究所 正 員 佐 藤 昌 志  
 北海道大学 正 員 三 上 隆

## 1. はじめに

構造材料(要素)の継手方式は、次の2つの方法、(1)リベット、ボルトなどのせん断力強さ、非接合材の面圧強さに依存する力学的(機械的)継手、及び(2)接着剤を用い、接合部のせん断強さに依存する科学的接着継手に大別できる。特に後者の継手は、最近の接着剤<sup>1),2)</sup>の特性の進歩とともに、①せん孔による応力集中、繊維破断、耐荷断面積の減少がない、②力学的継手に比べて重量軽減になる、③滑らかな外面が得られ、クラック伝搬がしにくい、④異種材料の組立が可能などの優れた特徴を有しているため、きわめて簡単な結合法として有望であろう。しかしながら化学的接着継手は、継手方式、非接合材の性質、重ね合わせ寸法、環境条件などの多くの因子の影響を受けるので、個々のデータの集積が必要である。

本研究では、内部被着体(アクリル棒を採用)と外部被着体(アクリル管を採用)を接着剤により同心円状に接着させた継手構造を対象にし、引張り荷重下の基本的性質を実験により検討を行ったものである。

## 2. 実験内容

本研究に用いたケミカル継手とは、アクリル棒2本を突き合わせ、その突き合わせ部分をアクリル管で覆い、棒とアクリル管の隙間をボンドで接着させるというものである。実験に用いた継手の概要図が図-1である。

実験に用いた材料の諸元を表-1に示す。直径0.6cmのアクリル棒及び外径1.0cm、内径0.7cmのアクリル管を用い、アクリル管長(以下接着長と呼ぶ)を5.0cm、10.0cm、13.5cm、20.0cmと変えたときのアクリル管外側中央部のひずみを計測し、最大引張り荷重10tfの引張り試験機で行った。また、隙間の接着に使用した接着剤は、家庭用のエポキシ系2液混合接着剤で、24時間で最大強度が得られるものを用いた。

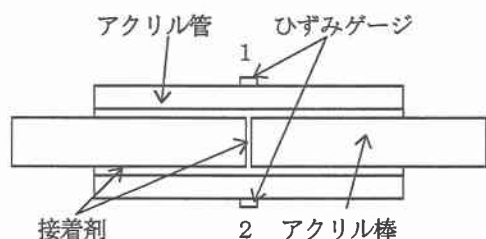


表-1 実験に用いた材料諸元

|       |                      |
|-------|----------------------|
| アクリル棒 | 直径 0.6cm             |
| アクリル管 | 外径 1.0cm<br>内径 0.7cm |

図-1 アクリル継ぎ手の概要図

Tensile Test on Chemical Joint

by Masashi AONO, Tomio YAMAGUCHI, Masashi SATO and Takashi MIKAMI

### 3. 算定式の定式化

継手部のひずみ及び応力算定式を誘導する<sup>9)</sup>。ただし、曲げの影響は無視し、図-1における継手中央部の接着剤は考慮しない。算定式の誘導に用いたモデルを図-2に示す。外側の材料の弾性係数、断面積を $E_1$ 、 $A_1$ 、内側の材料の弾性係数、断面積を $E_2$ 、 $A_2$ 、接着長を $\ell$ とし、 $x$ 軸を図のようにとる。ここで、外側と内側の変位を $u_1$ 、 $u_2$ 、接着剤層の厚さを $h$ 、接着剤のせん断弾性係数を $G$ 、せん断ひずみを $\gamma$ 、せん断応力を $\tau$ とする。接着層では、

$$\tau = k(u_2 - u_1) \quad (1. a)$$

ここで、 $k$ はせん断応力の外側部と内側部の間のせん断抵抗の比例定数で、最も簡単に定義するとすれば、

$$k = \frac{G}{h} \quad (1. b)$$

外側部と内側部のひずみを $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ とし、外側と内側が受け持つ軸力を $P_1$ 、 $P_2$ とすると、

$$\frac{du_1}{dx} = \varepsilon_1 = \frac{P_1}{E_1 A_1} \quad (2. a)$$

$$\frac{du_2}{dx} = \varepsilon_2 = \frac{P - P_1}{E_2 A_2} = \frac{P_2}{E_2 A_2} \quad (2. b)$$

外側部のせん断応力 $\tau$ と軸力 $P_1$ のつり合いより、

$$\frac{dP_1}{dx} + 2\pi a \tau = 0 \quad (3)$$

$a$ は、内側材料の中心から接着剤と外側材料の接触部までの長さを示す。

式(3)を $x$ で微分し、式(1. a)、(2. a)、(2. b)を代入してまとめると次式ようになる。

$$\frac{d^2 P_1}{dx^2} - \lambda^2 P_1 = -2\pi a k \frac{P}{E_2 A_2} \quad (4)$$

ここで、

$$\lambda^2 = 2\pi a k \frac{E_1 A_1 + E_2 A_2}{E_1 E_2 A_1 A_2} \quad (5)$$

である。

式(4)の一般解は次式となる。

$$P_1 = \alpha \cosh \lambda x + \beta \sinh \lambda x + \frac{P E_1 A_1}{E_1 A_1 + E_2 A_2} \quad (6)$$

ここで、 $\alpha$ と $\beta$ は積分定数である。

式(6)を境界条件 $x = 0$ で $P_1 = 0$ 、 $x = \ell$ で $P_1 = 0$ で解くと、外側部の軸力 $P_1$ と内側部の軸力 $P_2$ は以下となる。

$$P_1 = \frac{P E_1 A_1}{E_1 A_1 + E_2 A_2} \left[ 1 - \cosh \lambda x - \frac{1 - \cosh \lambda \ell}{\sinh \lambda \ell} \sinh \lambda x \right] \quad (7. a)$$

$$P_2 = \frac{P E_2 A_2}{E_1 A_1 + E_2 A_2} \left[ 1 + \frac{E_1 A_1}{E_2 A_2} \left( \cosh \lambda x + \frac{1 - \cosh \lambda \ell}{\sinh \lambda \ell} \sinh \lambda x \right) \right] \quad (7. b)$$

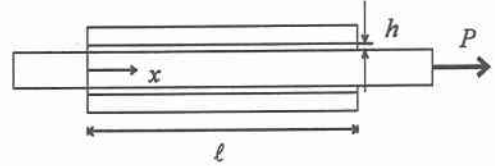


図-2 算定式誘導に用いたモデル

したがって、外側と内側のひずみは式(2. a)、(2. b)より、

$$\varepsilon_1 = \frac{P}{E_1 A_1 + E_2 A_2} \left[ 1 - \cosh \lambda x - \frac{1 - \cosh \lambda \ell}{\sinh \lambda \ell} \sinh \lambda x \right] \quad (8. a)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{P}{E_1 A_1 + E_2 A_2} \left[ 1 + \frac{E_1 A_1}{E_2 A_2} \left( \cosh \lambda x + \frac{1 - \cosh \lambda \ell}{\sinh \lambda \ell} \sinh \lambda x \right) \right] \quad (8. b)$$

また、せん断応力は式(3)より、次式となる。

$$\tau = \frac{\lambda}{2\pi a} \frac{P E_1 A_1}{E_1 A_1 + E_2 A_2} \left[ \sinh \lambda x + \frac{1 - \cosh \lambda \ell}{\sinh \lambda \ell} \cosh \lambda x \right] \quad (9)$$

#### 4. 実験値と計算値の比較

継手の引張り実験の計測値と計算値の比較を図-3～6に示す。どの図においても破線がアクリル管中央部1のひずみ、点線がアクリル管中央部2のひずみ、実線がその2つの平均値を示している。また、黒丸で示される値は計算値である。なお、継手部の破壊形状についてであるが、突き合わせ部分の接着剤が破断しアクリル棒が接着剤と共に抜けるものと、単にアクリル棒のみが抜けてしまうものが見られた。これは接着長によらず発生し、アクリル棒と接着剤の付着及び突き合わせ部分の接着不良によるものと考えられる。

算定式を用いるには、式(1. a)の $k$ が明らかでなければならない。しかし、家庭用接着剤の物性値が不明なことから算定式はアクリル棒の突き合わせの状況が考慮されていないために実験値を用いて $k$ を推定することにした。図-3は、 $k$ の推定に用いた接着長20cmのときの実験値と $k=6000(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ による計算値を示した。図より明らかなように $P=60(\text{kgf})$ までは実験値と計算値はよい一致が得られている。以下では $k=6000$ を用いて計算値を算出する。接着長を13.5cm、10cmとした場合、20cmの時と同様良い一致が見られる。しかし5cmの場合、実験値と計算値は良い一致が得られなかった。これは、継手を作成する際、内側被着体の偏心等の影響により曲げモーメントの影響が出てしまったと思われる。

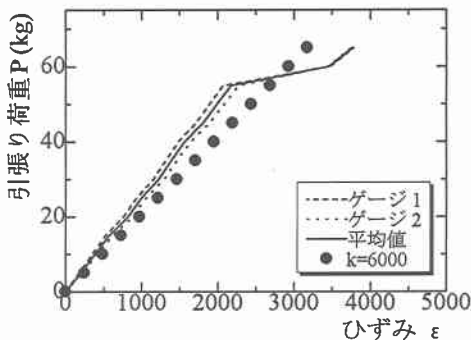


図-3 接着長20cmの場合の比較

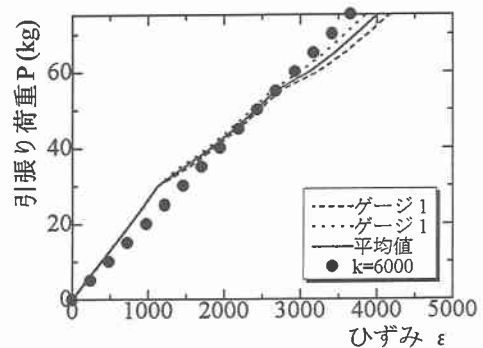


図-4 接着長13.5cmの場合の比較

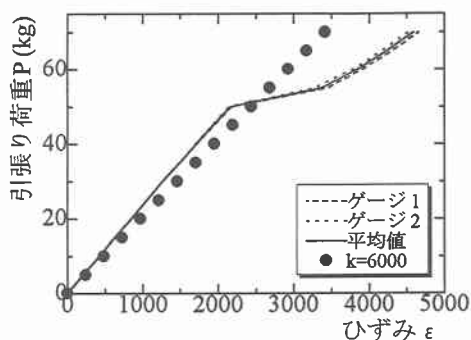


図-5 接着長 10cm の場合の比較

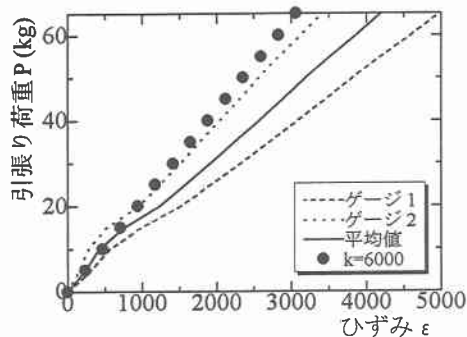


図-6 接着長 5cm の場合の比較

## 5. まとめ

アクリル材のケミカル継手のひずみ特性について、実験と解析で検討を行った。本研究では、ケミカル継手の基本的な性質を押さえる上で、接着長を変え実験を試みた。また、簡単なモデルを用い解析値との比較を行った。本研究の範囲内で得られた結果をまとめると以下になる。

- (1) 接着剤と被着体の付着及び突き合わせ部の接着が継手を使用する上での重要なポイントとなる。  
また、継手を作成をするにあたり、内側被着体が偏心しないように注意すべきである。
- (2) 算定式は、荷重とひずみ関係が線形の範囲内であれば十分適用できる。ただし、 $k$  値の算出には配慮が必要である。

今後は、工業用接着剤を用いた鉄筋のケミカル継手の実験を行う予定である。

## 【謝辞】

本実験を行うにあたり、開発土木研究所構造研究室の方々に協力していただき厚く感謝いたします。

## ＜参考文献＞

- 1) 小川俊夫: 工業技術者の高分子材料入門、共立出版、1993
- 2) 日本接着協会編: 接着ハンドブック(第2版)、日刊工業新聞社、1980
- 3) 林毅編: 複合材料工学、日科技連、1979