

I-11

コンクリート合成鋼床版の耐荷力の解析と実験

北海道大学工学部	正 員	佐藤 浩一
北海道大学工学部	正 員	渡辺 昇
北海道大学工学部	学生員	大釜 達夫
(株) 釧路製作所	正 員	井上 稔康

1. まえがき

最近、橋梁における合成構造物の一つとして、コンクリート床版と鋼板を頭つきスタッドジベルで結合した、コンクリート合成鋼床版(CS版)が用いられるようになってきた。

ジベルの本数と間隔をかえたコンクリート合成鋼床版の供試体を製作し耐荷力実験を行った。本報告はその概要を示すものである。

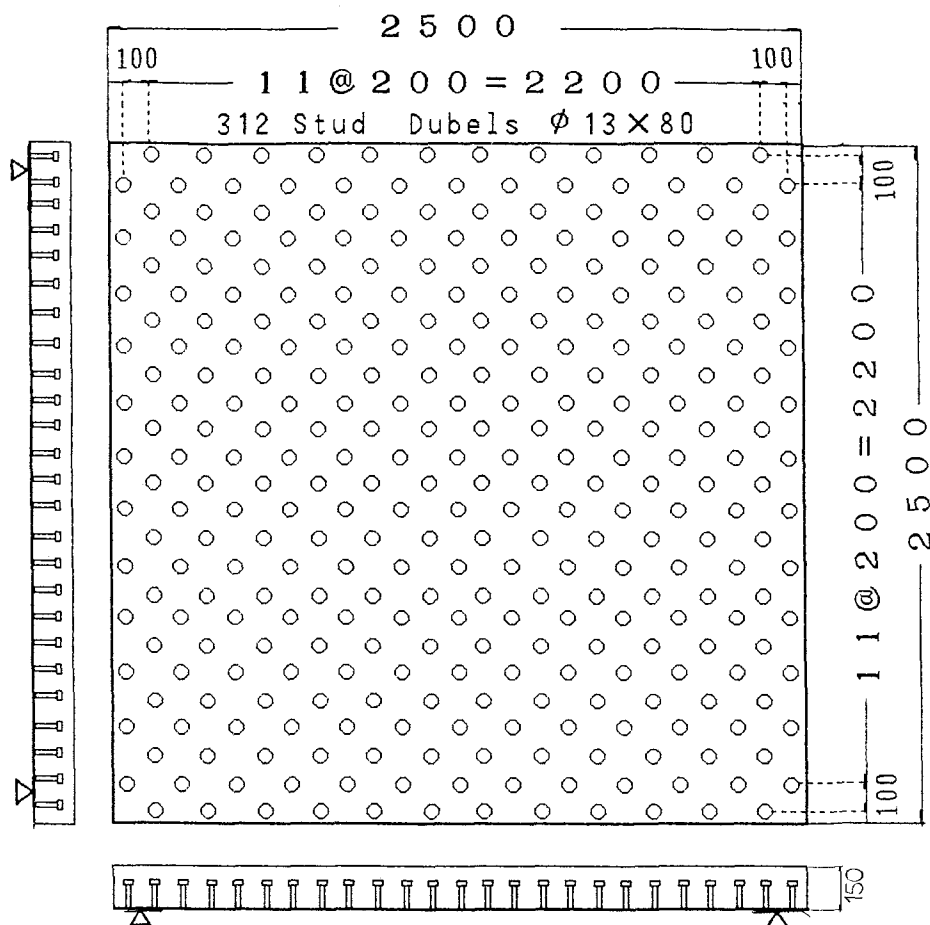


図-1 実験1供試体

Study on Flexural Strength of Concrete Composite Steeldeck
by Koichi SATO, Noboru WATANABE, Tatsuo OHKAMA and Toshiyasu INOUE

2. 実験

2-1 実験概要

実験は、大きさの異なる2種類の供試体について行った。

実験1は、以下の供試体について実験を行った。それを図-1、図-2、写真-1に示す。

支点間隔 230cm×230cm

コンクリート床版厚 15cm

鋼板厚 6mm

ジベル寸法 $\phi 13\text{mm} \times 80\text{mm}$

載荷板寸法 80cm×80cm

また実験2は、以下の供試体について実験を行った。それを図-4、図-5に示す。

支点間隔 70cm×70cm

コンクリート床版厚 15cm

鋼板厚 6mm

ジベル寸法 $\phi 13\text{mm} \times 80\text{mm}$

載荷板寸法 30cm×30cm

なお実験は、すべて4辺単純支持で、実験1は一体のみ、実験2はジベルの間隔及び本数をかえた4体について行った。

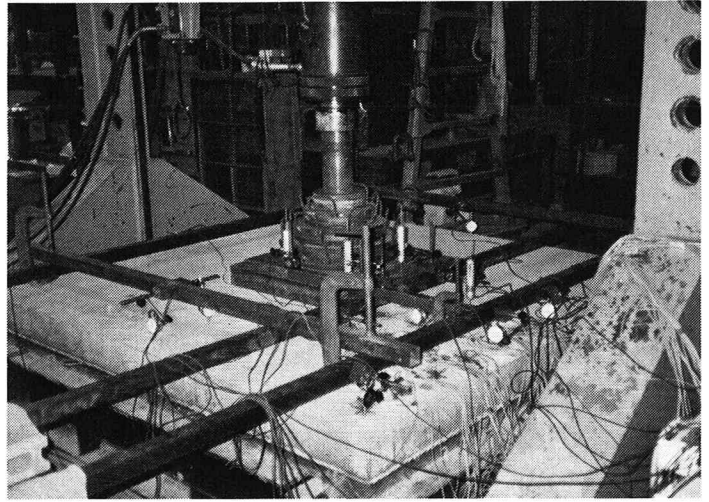


写真-1

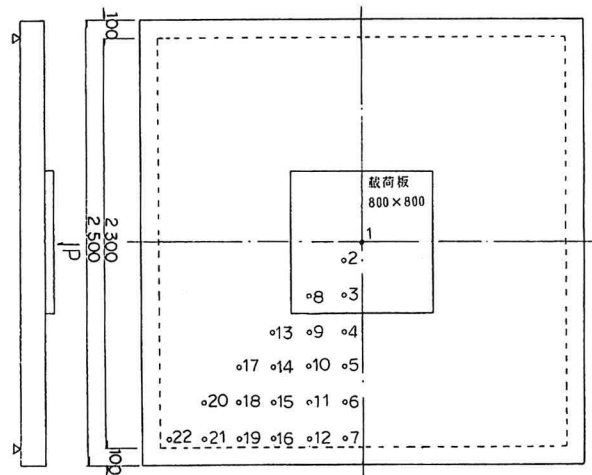
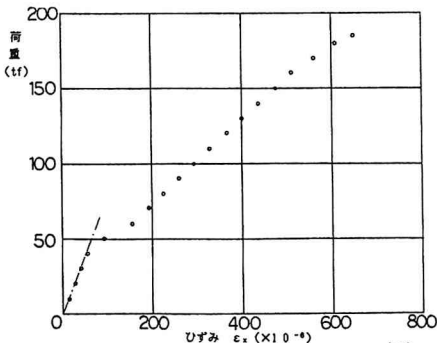


図-2 載荷状態およびひずみゲージ位置

(a) 鋼板 ゲージN0.5



(b) コンクリート床版 ゲージN0.5

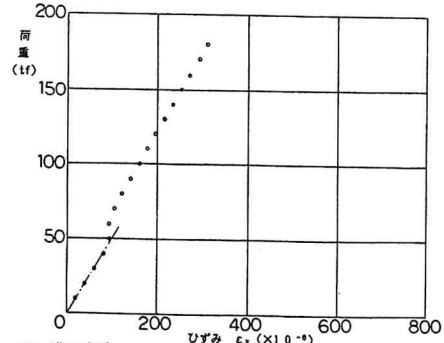
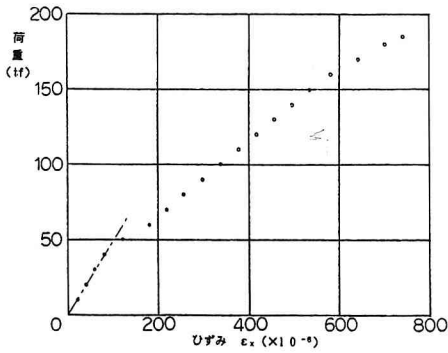


図-3 荷重-ひずみ図

(c) 鋼板 ゲージN0.13



(d) コンクリート床版 ゲージN0.13

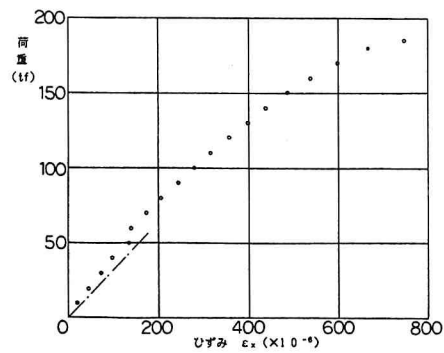


図-3 荷重-ひずみ図

2-2 実験1

前述のような供試体及び載荷状態で、3軸ひずみゲージを図-2において、鋼板には1～22、コンクリート床版には4～7、9～22に貼布して実験を行った。

以上のようにして得られた実験データより、鋼板とコンクリート床版のゲージN0.5とN0.13について、荷重とひずみの関係をグラフ化した。その結果を図-3に示す。なお図中の一点鎖線は、完全合成板の場合の解析値である。

また、崩壊後の状態を写真-2に示す。

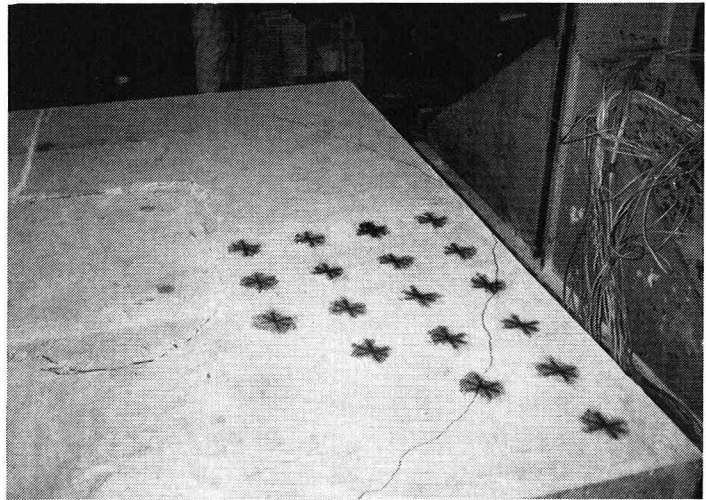


写真-2

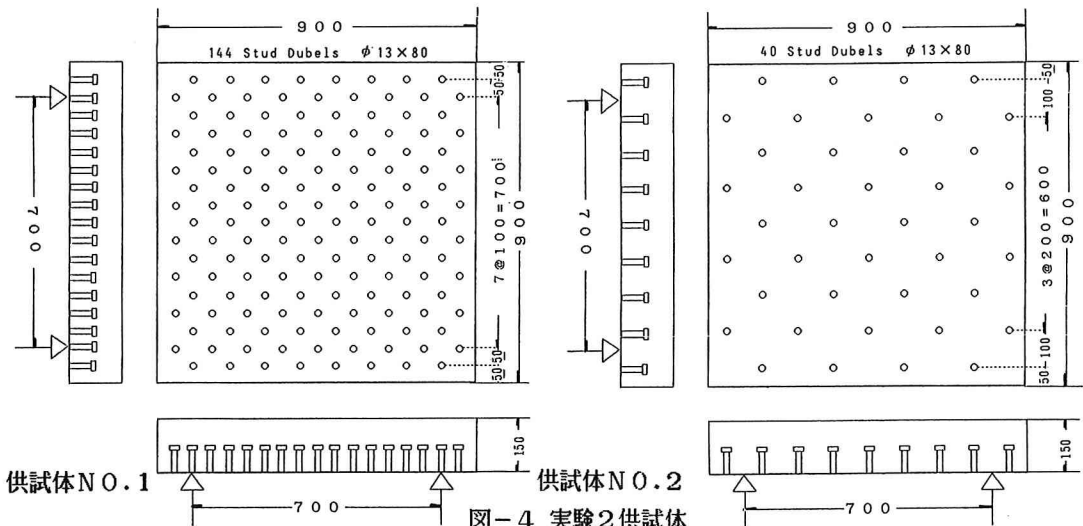


図-4 実験2供試体

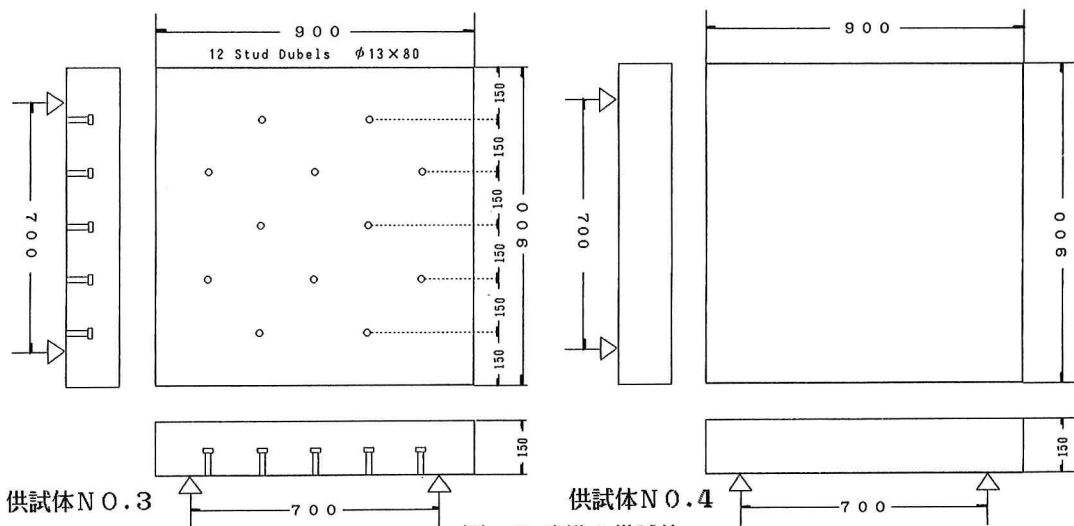


図-4 実験2 供試体

2-3 実験2

前述のような供試体及び載荷状態で、3軸ひずみゲージを図-5において、鋼板には1～10、コンクリート床版には4～10に貼布して実験を行った。

以上のようにして得られた実験データより、鋼板はゲージN0.2、コンクリート床版はゲージN0.4について、荷重とひずみの関係をグラフ化した。その結果を図-6に示す。なお図中の一点鎖線は、完全合成板の場合の解析値である。

また、崩壊後の状態を写真-3に示す。

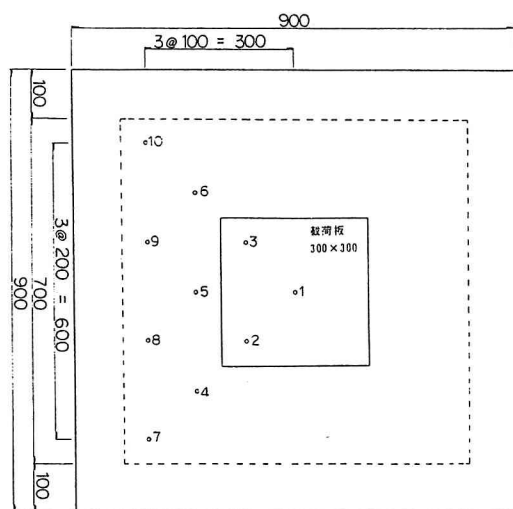


図-5 載荷状態およびひずみゲージ位置

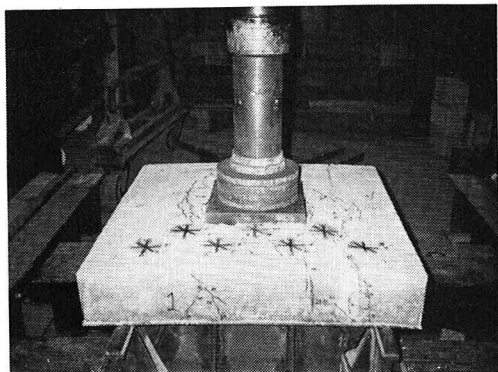
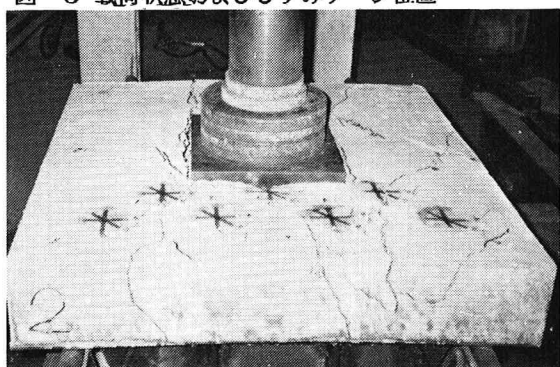


写真-3 供試体N0.1



供試体N0.2

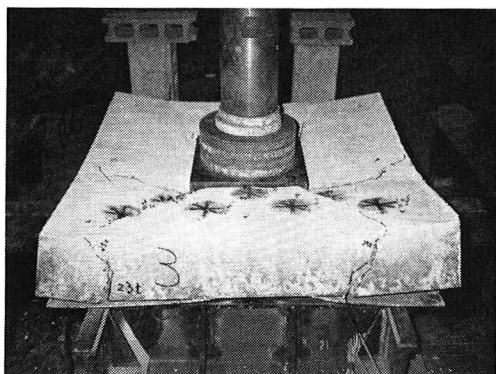
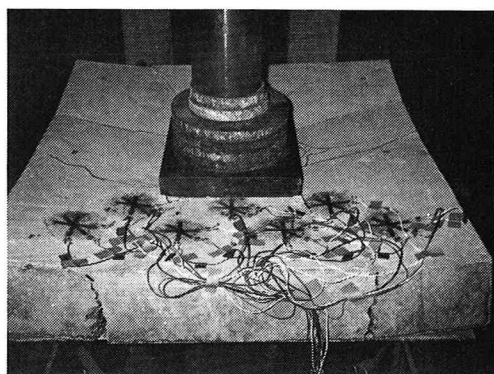
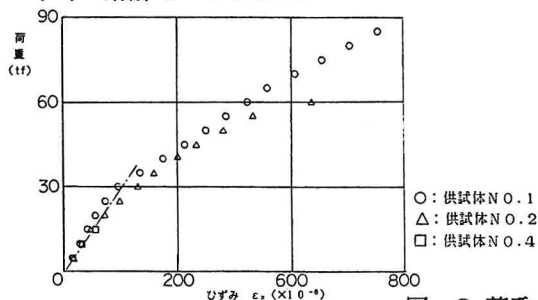


写真-3 供試体N0.3

(a) 鋼板 ゲージN0.2



供試体N0.4

(b) コンクリート床版 ゲージN0.4

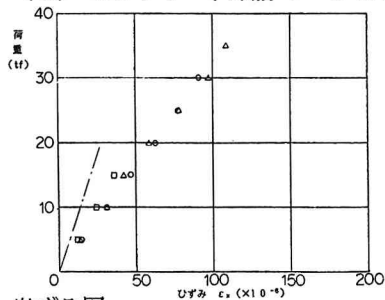


図-6 荷重-ひずみ図

3. 板の偏微分方程式

Dを板剛性、qを分布荷重とすると図-7に示す板のたわみに関する偏微分方程式は次のように表される¹⁾。

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D} \quad (1)$$

たわみと分布荷重を二重フーリエ級数で表す。

$$q = \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{16q_0}{j k \pi^2} \sin \frac{j \pi x_0}{a} \sin \frac{j \pi a_0}{2a} \times \sin \frac{k \pi y_0}{b} \sin \frac{k \pi b_0}{2b} \sin \frac{j \pi x}{a} \sin \frac{k \pi y}{b} \quad (2)$$

式(1), (2)より

$$w = \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} f_{jk} \sin \frac{j \pi x}{a} \sin \frac{k \pi y}{b} \quad (3)$$

$$f_{jk} = \frac{16q_0}{D \pi^6} \frac{1}{\frac{j k (j^2/a^2 + k^2/b^2)}{k \pi y_0} \sin \frac{k \pi b_0}{2b}} \sin \frac{j \pi x_0}{a} \sin \frac{j \pi a_0}{2a} \times \sin \frac{k \pi y_0}{b} \sin \frac{k \pi b_0}{2b}$$

よって

$$\varepsilon_x = -Z \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} f_{jk} (j \pi / a)^2 \sin \frac{j \pi x}{a} \sin \frac{k \pi y}{b} \quad (4)$$

$$\varepsilon_y = -Z \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} f_{jk} (k \pi / b)^2 \sin \frac{j \pi x}{a} \sin \frac{k \pi y}{b} \quad (5)$$

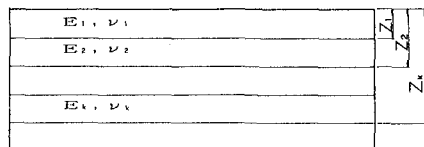
$$\gamma_{xy} = 2Z \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} f_{jk} (j \pi / a) (k \pi / b) \cos \frac{j \pi x}{a} \cos \frac{k \pi y}{b} \quad (6)$$

文献²⁾によると、図-8に示すような多層板の板剛性 D_v は、 E_k を k 番目の板のヤング係数、 ν_k を k 番目の板のポアソン比とし

$$A = \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{1-\nu_k^2} (Z_k - Z_{k-1}), \quad B = \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{1-\nu_k^2} \frac{Z_k^2 - Z_{k-1}^2}{2} \quad \text{図-8}$$

$$C = \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{1-\nu_k^2} \frac{Z_k^3 - Z_{k-1}^3}{3} \quad (7) \text{としたとき}$$

$$D_v = \frac{AC - B^2}{A} \quad (8) \text{で表されている。}$$



式(7), (8)を、図-9に示すように、 h をコンクリート床版厚、 t を鋼板厚として、コンクリート床版と鋼板の二層板の場合に適用すれば、

$$A = \frac{E_c}{1-\nu_c^2} h + \frac{E_s}{1-\nu_s^2} t, \quad B = \frac{E_c}{1-\nu_c^2} \frac{h^2}{2} + \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \frac{(h+t)^2 - h^2}{2},$$

$$C = \frac{E_c}{1-\nu_c^2} \frac{h^3}{3} + \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \frac{(h+t)^3 - h^3}{3}$$

$$a = \frac{E_c}{1-\nu_c^2}, \quad b = \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \quad \text{とおき、これらを式(8)に代入して整理すれば、}$$

$$D_v = b \left\{ \frac{t^3}{12} + \frac{a}{b} \frac{h^3}{12} + (t + \frac{a}{b} h) \frac{t(t+h)}{2(t+a/b \cdot h)} \frac{h(t+h)}{2b/a(t+a/b \cdot h)} \right\} \quad (9)$$

となる。ここで $n = b/a$, $I_s = t^3/12$, $I_c = h^3/12$, $A_s = t$, $A_c = h$,

$$S_c = \frac{A_s}{A_v} S = \frac{t(t+h)}{2(t+a/b \cdot h)}, \quad S_s = \frac{A_c}{n A_v} S = \frac{h(t+h)}{2b/a \cdot (t+a/b \cdot h)} \quad \text{とおけば、}$$

式(9)は、

$$D_v = \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \{ I_s + I_c/n + (A_s + A_c/n) S_c S_s \} \quad (10)$$

となる。したがって、合成板の板剛性は、合成桁の $n = \frac{E_s}{E_c}$ のかわりに、 $n = \frac{E_s(1-\nu_c^2)}{E_c(1-\nu_s^2)}$

とし、単位幅の合成断面の断面2次モーメントを求め、ヤング係数 E_s を $E_s/(1-\nu_s^2)$ とすればよい。

以上の諸式を用いて、実験1と実験2の断面諸元を求め、荷重-ひずみ曲線を求めれば、図-3、および図-6の一点鎖線のようになり、実験値とほぼ一致していることがわかる。

4. あとがき

実験2から、合成板は、最初、完全合成板の挙動を示し、ジベルの数が多いほど、完全合成板の状態が長く続くことがわかる。なお、崩壊荷重は、以下の通りである。

実験1 185tf

実験2 NO.1 125tf, NO.2 60tf, NO.3 23tf, NO.4 18tf

終わりに、本実験の実施にあたり、北海道大学工学部橋梁学講座助手小幡卓司氏、同技官及川昭夫氏はじめ、研究室の諸氏に大変お世話になり、感謝の意を表します。

参考文献 1) S.TIMOSHENKO and S.WOINOWSKY-KRIEGER: Theory of Plates and Shells, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC., New York, 1959.

2) Rudolph Szilard: Theory and Analysis of Plates, PRENTICE-HALL, INC., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.

3) 渡辺 昇: 橋梁工学、朝倉書店、1974.

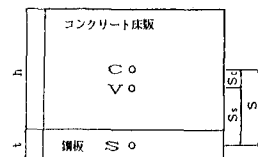


図-9