

プレストレス・スノー・シェッドの載荷試験について

柳 場 重 正* 吉 田 博*
 岩 井 弘** 高 桑 二 郎***

Tests on an Assembled Snow-Shade

by

Sigemasa HASABA, Hiroshi YOSHIDA, Hiroshi IWAI and Jiro TAKAKUWA

The following tests on an assembled snow-shade were carried out to examine the design adequacy :

1. Measurements of the prestressed strain introduced in the main beams.
2. Bending behavior of the main beams.
3. Measurements of the strain of the snow-shades under the horizontal loading in the road axis and in the direction perpendicular to it.
4. Measurements of the strain of the snow-shades under the combination of a constant vertical load and a horizontal loading in both directions.

The results obtained from the tests are,

1. The prestress introduced in the main beam coincides with the value used in the design.
2. The crack load of the main beam coincides with the value used in the design and the whole section is efficient until the load reaches to the crack load.
3. The assumptions used in the design of the assembled snow-shades are satisfied for the horizontal load in both directions.

1. ま え が き

山間部の交通の安全を確保するために、鋼製および鉄筋コンクリート製の落石および雪崩覆が多く用いられている。鉄筋コンクリート製のは設置に長期間の交通の遮断を必要とし、また、鋼製のものは、落石および雪崩の衝撃に対する安全性が問題とされている。最近、短時間に設置を行うことができ、かつ、衝撃に対して安全であると考えられる現場組立式のプレストレスト・スノー・シェッドが注目されてきた。このプレストレスト・スノー・シェッドにはいくつかの形式があるが両端がヒンジで軸方向力のみを受け持つ鉄筋コンクリート製の子柱と、下端がヒンジで上端が主ばりと PC 鋼棒で締結するポストテンション方式の PC 製親柱およびプレテンション方式の主ばりよりなる静定構造のものが多く用いられているようである。

この形式のプレストレスト・スノー・シェッドには、

- (1) 主ばりの PC より線の配置および導入プレストレス量の適否
- (2) 主ばりのひび割れ荷重の大きさ

*土木工学科 **大林組 ***金沢大学大学院工学研究科学生

(3) 主ばりと親柱の結合剛度

(4) 数組のスノー・シェッドを横締して一体として組立てられたものが、道路直角方向および道路軸方向の荷重に対して一体となって作用するかどうか

等の問題点について検討が要求されてきた

本研究においては、これらの問題点に対して以下の実験を行い、設計の仮定が満たされているかどうかおよび合理的設計がなされているかどうかの検討を行った。

(1) 主ばりの導入プレストレスの測定

(2) 主ばりの単純曲げ試験

(3) 水平荷重および水平荷重と鉛直荷重の組合せ荷重を作用させた時のスノー・シェッドの応力、変位の測定。

2. 実験方法および実験結果

(1) 実験の概要

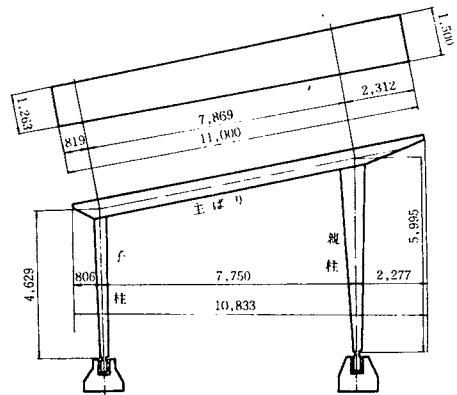
実験に用いる一組のスノー・シェッドの構造および主要寸法は第1図に示すとうり、子柱、主ばりおよび親柱からなり子柱の上下端はピン構造となっておりヒンジとして作用する。親柱下端はピン構造となっているが、上端は主ばりとPC鋼棒で緊結されるようになっており全体として静定構造である。

載荷試験においては、このスノー・シェッド4組を並列に並べて1m間隔で配置された横桁内部に19mmの鋼棒を通して横締めして、道路軸方向の水平荷重に対して一体となって働くようにする。本実験においては曲線部分に用いるスノー・シェッドを用いたため主ばりフランジ間の間隙にはパッキング(コンクリート製)を挿入して横締めを行った。

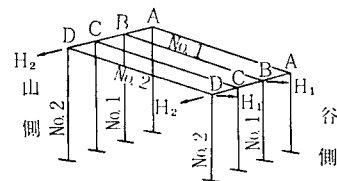
応力測定を行うスノー・シェッドは第2図に示す4組のスノー・シェッドのBとDの2組でそれぞれ、No.1およびNo.2スノー・シェッドと呼ぶことにする。

No.1およびNo.2のスノー・シェッドの主ばりおよび親柱には、あらかじめカーソルゲージを埋め込み各施工段階および各荷重段階ごとに連続的に応力測定できるようにした。一方スノー・シェッドの道路軸方向の水平荷重載荷に対する応力測定に対してはストレインゲージを主ばりおよび親柱のコンクリート表面に貼付け、3線式温度保障法により測定した。

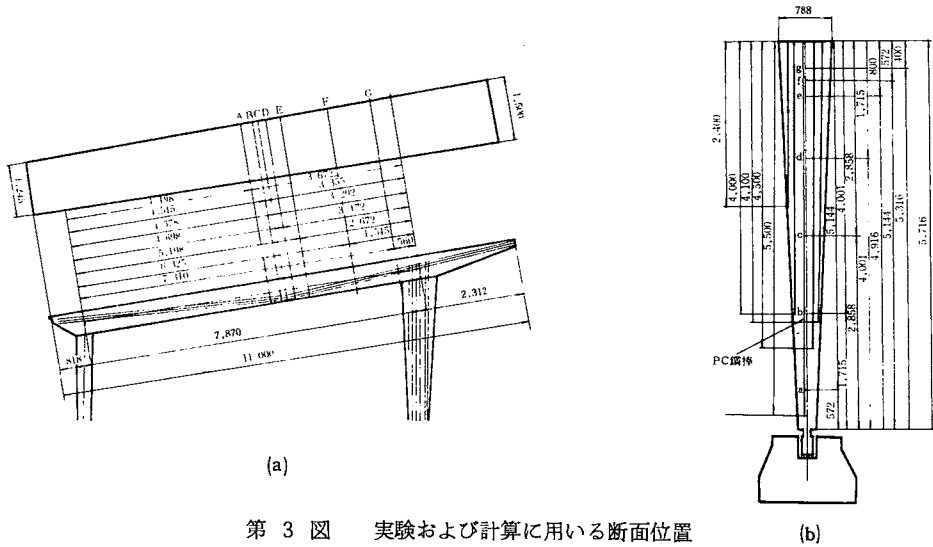
なお、以後の実験および解析に用いる断面位置は第3図に示すとおりであり、主ばりでは、A, B, C, D, E, F, Gの7断面、親柱では、a, b, c, d, e, f, gの7断面の詳細および断面係数を第1表(a)および(b)に示す。



第1図 スノー・シェッドの構造および主要寸法



第2図 測定スノー・シェッドの番号



第 3 図 実験および計算に用いる断面位置

第 1 表 主ばりおよび親柱の断面特性
(a) 主ばり

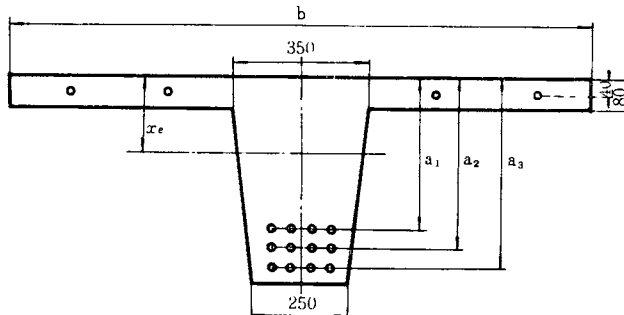
$n=5.602$

$E_s=2,00,000 \text{ kg/cm}^2$

$E_c=357,000 \text{ kg/cm}^2$

断面	b (cm)	a_1 (cm)	a_2 (cm)	a_3 (cm)	換算断面積 A_e (cm ²)	コンクリート上 縁に関する断面 1次モーメント G_e (cm ³)	中立軸位 置 x_e (cm)	換算断面 2次 モーメント I_e (cm ⁴)
A	136.1	39.7	43.8	47.8	(2,580) 2,567	(49,663) 49,243	(19.3) 19.2	(726,850) 720,430
B	136.9	41.6	45.6	49.6	2,574	49,363	19.2	726,722
C	137.0	42.0	46.0	50.0	2,574	49,387	19.2	728,004
D	137.3	41.3	45.3	49.4	(2,590) 2,577	(49,607) 49,362	(19.3) 19.2	(733,938) 726,770
E	138.5	38.4	42.6	46.7	(2,600) 2,586	(49,607) 49,253	(19.2) 19.0	(727,924) 721,984
F	141.1	32.0	36.3	40.6	2,607	49,020	18.8	713,582
G	143.3	26.4	30.9	35.4	2,625	48,814	18.6	709,283

() 内の数値は $E_c=316,000 \text{ kg/cm}^2$ に対する値である。



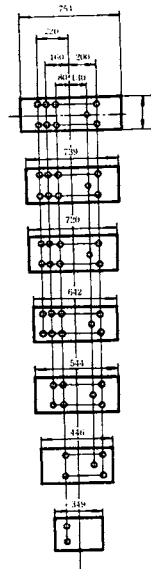
(b) 親 柱

$n=5.917$

$E_s=2,000,000 \text{ kg/cm}^2$

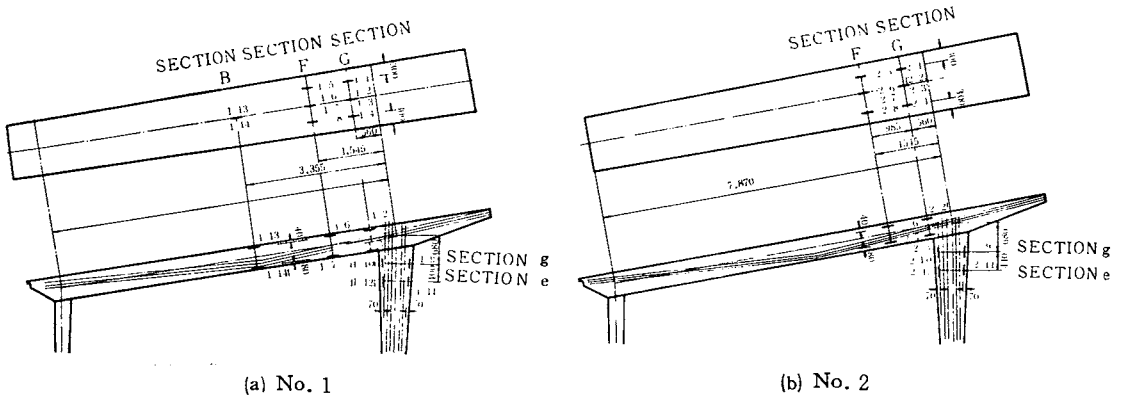
$E_c=338,000 \text{ kg/cm}^2$

断面	換算断面積 $A_e \text{ (cm}^2\text{)}$	コンクリート上縁に関する断面1次モーメント $G_e \text{ (cm}^3\text{)}$	中立軸位置 $x_e \text{ (cm)}$	換算断面2次モーメント $I_e \text{ (cm}^4\text{)}$
a	943	562	0.6	92,680
b	1,294	-1,300	-1.0	222,056
c	1,606	-177	-0.1	389,176
d	1,921	1,370	0.7	640,825
e	2,116	1,370	0.7	867,246
f	2,154	1,370	0.6	930,464
g	2,210	1,370	0.6	982,724



(2) カールソングージ埋込み位置

コンクリート中の応力測定を行うために、カールソングージ（共和電業KK製，CS-10F）をコンクリートに埋込んだ。カールソングージは鉄筋に接触しないように結束鉄線でその両端を結び鉄筋からの間隔を確保した。コンクリートの打込みの際には細心の注意を払い、カールソングージの位置を確保し、棒状バイブレーターでカールソングージ周辺をよく締固めてから全体のバイブレーターをかけるようにした。第4図(a)および(b)は、No.1およびNo.2スノー・シェッドの主ばりおよび親柱に埋込んだカールソングージの位置と番号を示している。



第 4 図 スノー・シェッドのカールソングージ埋込み位置

(3) 主ばりの導入プレストレスの測定

a) プレストレスの導入

コンクリートの打設後、蒸気養生を12時間行った後、コンクリート温度の低下を待ってプレストレスの導入を行った。主ばりには、PCより線 SWPC 12.4 m/m がウェブに12本、フランジに4本、第5図に示されるように配置されている。これらのPCより線は、総緊張力225 tonであらかじめ緊張されている。プレストレスの導入はオイルジャッキの油圧を徐々に下げることによって導入した。

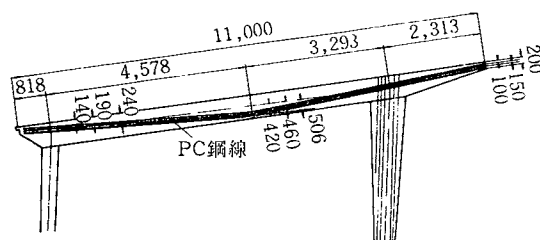
b) 測定結果

第2表はプレストレス導入による各断面のカーソンゲージで測定された測定ひずみを示す。また第6図に、断面B, F, Gでの導入プレストレス分布を示す。

(4) 単純曲げ試験

a) 試験方法

第7図に示すように、子柱および親柱取



第5図 主ばりのPC鋼線の配置

第2表 主ばりの導入プレストレス

(a)

	断面	位置	ゲージNo.	測定ひずみ ($\times 10^{-6}$)	測定応力 (kg/cm^2)	理論値 (kg/cm^2)	測定値
							理論値
No. 1 スノー・シェッド	B	床版上側	1-13	-169.34	-53.5	-35.2	1.52
		床版下側	1-14	-516.99	-163.4	-176.7	0.92
	F	床版上側	1-5	-122.65	-38.8	58.3	0.67
			1-6	-164.32	-51.9		0.89
			1-8	-128.26	-40.5		0.69
		床版下側	1-7	-434.76	-137.4	136.5	1.01
	G	床版上側	1-1	-164.72	-52.1	70.1	0.74
			1-2	-148.49	-46.9		0.67
			1-4	-156.79	-49.6		0.71
		床版下側	1-3	-377.94	-119.4	114.7	1.04

(b)

	断面	位置	ゲージNo.	測定ひずみ ($\times 10^{-6}$)	測定応力 (kg/cm^2)	理論値 (kg/cm^2)	測定値
							理論値
No. 2 スノー・シェッド	F	床版上側	2-5	-138.40	-48.3	58.3	0.75
			2-6	-143.62	-45.4		0.78
			2-8	-123.25	-38.9		0.67
		床版下側	2-7	-390.12	-123.3	136.5	0.90
	G	床版上側	2-1	-168.42	-53.2	70.1	0.76
			2-2	-405.41	-47.1		0.67
			2-4	-183.03	-57.8		0.82
		床版下側	2-3	-149.05	-128.1	114.7	1.12

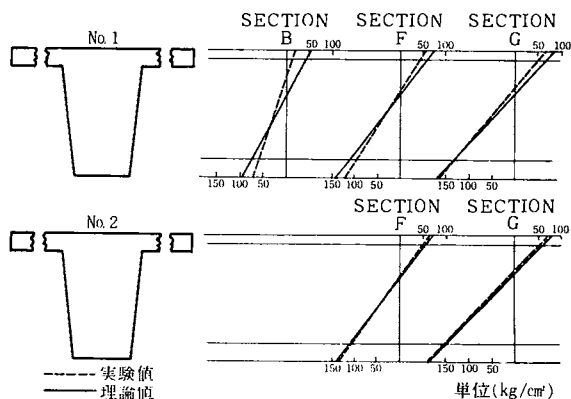
付点を単純支持とし主ばりの設計荷重において最も危険となる断面 D に一点載荷した。

応力測定のためのストレインゲージ（共和電業 KK 製 KS-70-A1-11）を載荷点およびその左右に 500mm 離れた断面 A および E に第 7 図に示すように左右フランジ下縁，ウェブ下縁およびウェブ下縁より 50mm および 350mm の左右側面に合計 1 断面 7ヶ所に貼り付けた。また載荷点でのたわみを測定するために 1/100mm の精度のダイヤルゲージを載荷点下に取り付けた。荷重は最初，初期値調整のため 5 ton を載荷し，1 度除荷した後に，5 t, 10t, 15t と載荷し以後 1 ton 間隔でクラックが観察されるまでオイルジャッキで載荷した。また，実験時のコンクリートの弾性係数を知るために主ばりと同条件で製作養生された標準供試体を用いて弾性係数の測定を行った。なお，この単純曲げ試験は材令 2 日で行った。

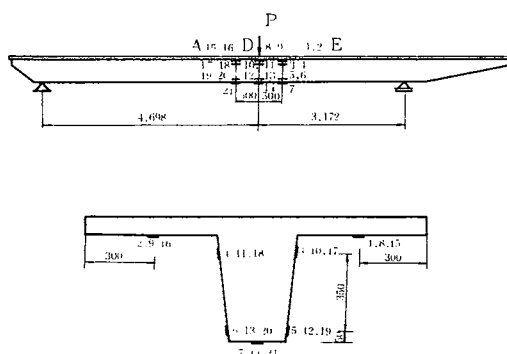
b) 実験結果

コンクリートの標準供試体から得られた応力-ひずみ関係より，コンクリートの弾性係数は 316,000 kg/cm² であり破壊強度は $\sigma_c = 567 \text{ kg/cm}^2$ であった。

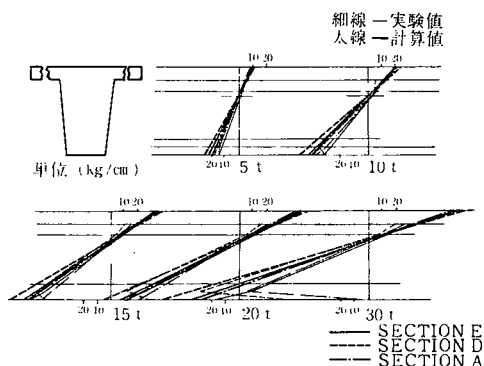
第 8 図は，これらの応力度分布を 3つの断面 A, D, E についてそれぞれ実線，点線および一点鎖線で図示したものである。第 9 図は荷重点下のたわみを横軸に，荷重を縦軸にとった荷重たわみ曲線である。



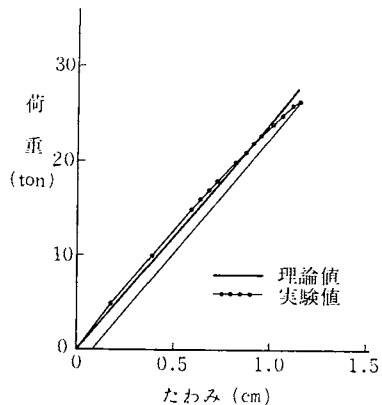
第 6 図 導入プレストレス分布



第 7 図 ストレイン・ゲージ位置および



第 8 図 単純曲げ試験の応力分布

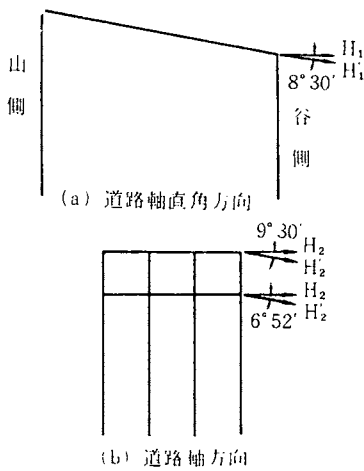


第 9 図 荷重-たわみ図

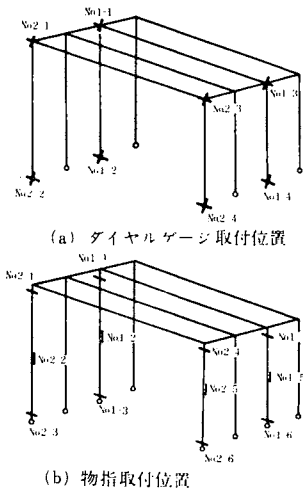
(5) 水平荷重によるスノー・シェッドの応力測定

a) 実験方法

主ばりと親柱の接合剛度を調べるために道路軸と直角方向に荷重を作用させて、主ばりおよび親柱に埋込まれたカールソングージのひずみを測定すると同時に、親柱および子柱上端での水平変位を測定しようとするものである。まず荷重は測定スノー・シェッドの No. 1 および No. 2 の主ばりのフランジの PC より線をのばしておき、これにワイヤーを取り付けた。ワイヤーは地表の固定点に取り付けた 2 台のオイル・ジャッキに、それぞれ結ばれて No. 1 および No. 2 のスノー・シェッドと同時に荷重を作用させるようにした。第 10 図は荷重の作用方向を示している。荷重の作用方向はスノー・シェッドの山側から谷側であり鉛直荷重無載荷のときは親柱側の浮上りを防止するために No. 1 および No. 2 のスノー・シェッドのそれぞれの荷重を最大 6.0ton に制限した。横方向変位の測定には、第 11 図に示す位置 (No. 2-2, No. 2-4 を除く) に 1/100mm 精度でストローク 30mm のダイ



第10図 載荷方向

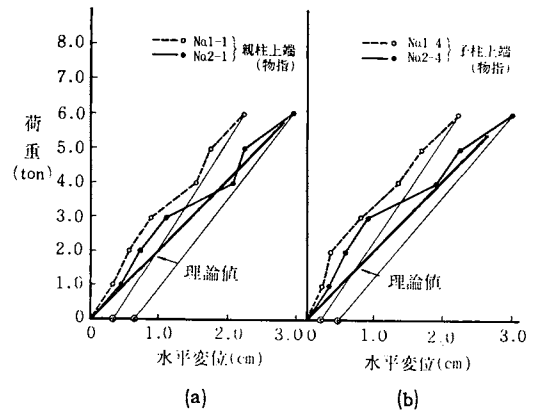


第11図 ダイヤルゲージおよび物指取付位置

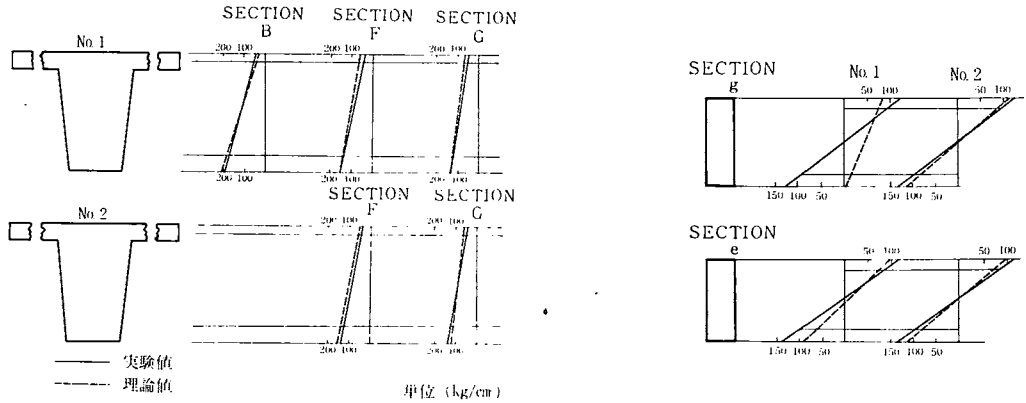
ヤルゲージを 6 個設置した。ダイヤル・ゲージ先端に取り付けたピアノ線をスノー・シェッドの測定箇所結びつけ、ダイヤル・ゲージのもどりを確実にするために、ダイヤル・ゲージ頭部にバネを取り付けた。ダイヤル・ゲージの他に、第 11 図(b)に示す位置に物指を取り付けて、2 台のトランシットで子柱および親柱の下端および上端での水平変位を読みとることができるようにした。また子柱および親柱の浮上り、または沈下を測定するために第 11 図に示す位置に鉛直方向に物指を取り付けてレベルによって測定を行うことにした。荷重は 1 ton から 6 ton まで 1 ton きざみで増加させ、各荷重段階でカールソングージのひずみ測定、トランシットによる水平変位の測定およびレベルによる鉛直変位の測定を行った。さらに後述する道路軸方向の水平荷重によるひずみの測定のために貼り付けたワイヤーストレングージのひずみの読みも同時に記録した。最後に除荷後の測定を行った。また、主ばりおよび親柱と同条件で製作養生された同材令のコンクリート標準供試体各 3 本を用いて弾性係数および破壊強度の測定を行った。

b) 実験結果

コンクリート標準供試体より得られた主ばりの弾性係数および破壊強度は平均 357,000 kg/cm² および 561kg/cm² であり親柱のものは 338,000kg/cm² および 570kg/cm² であった。第12図(a)および(b)はそれぞれ親柱上端および子柱上端での水平変位を横軸に、荷重を縦軸にとって荷重—水平変位の関係を示したものである。図中実線は No. 2 スノー・シェッドのものを、点線は No. 1 のものを示している。また、第13図は主ばりおよび親柱の水平荷重が 5.93ton に対して測定された応分力分布および理論値を示している。



第12図 荷重—変位図(道路軸直角方向, 鉛直荷重無載荷)



第13図 水平荷重 5.93 t に対する主ばりの応力分布

(6) 組合せ荷重によるスノー・シェッドの応力測定

a) 実験方法

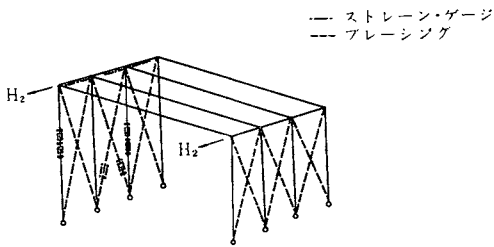
設計荷重に等しい鉛直荷重の他に、道路軸直角方向と道路軸方向に各々設計荷重に等しい水平荷重を作用させて応力および変形の測定を行った。

1. 道路軸直角方向

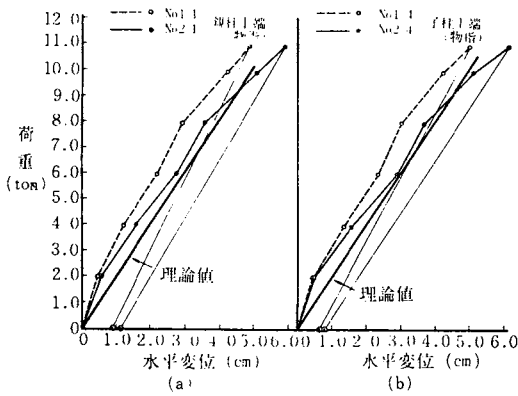
測定方法は(5)と全く同じであるが水平荷重は、2 t, 4 t, 6 t, 8 t および 10 t の 6 段階とし最後に除荷後の測定を行った。

2. 道路軸方向

4組のスノー・シェッドが一体となって道路軸方向の水平荷重に抵抗するかどうかを調べるために道路軸方向に水平荷重を作用させて横ばり下面および柱側面に貼り付けたワイヤーストレンゲージのひずみを測定した。ワイヤーストレンゲージは共和電業 KK 製 (KC-70-A1-11) で 3 線式温度保障法により温度変化の影響を取り除いた。道路軸方向の水平荷重の载荷に対してはブレーシングのない場合と親柱に第14図に示すように X 型にブレーシングを入れた場合の 2 通りについて実験を行った。中央のブレーシング 2 本に共和電業 KK 製 (KC-10-A1-11) ゲージを貼り付けた。



第14図 ストレイン・ゲージ接着位置
およびブレイシングの配置



第15図 荷重—変位図（道路軸直角方向、
鉛直荷重載荷）

変位の測定は道路軸直角方向と同じ位置で道路軸方向の水平変位が測定できるように、ダイヤルゲージ、物指およびトランシットを設置した。水平荷重は親柱および子柱上端の横締用のPC鋼棒にワイヤーを取り付けて地表上の固定点に取付けられた2台のオイル・ジャッキで荷重を作用させた。水平荷重は、まず、親柱側に水平に所定の荷重を作用させ親柱と同じ水平変位を与えるように子柱側の荷重を調整した。親柱側の荷重はブレイシングのない場合には2t、4t、6tと3段階に、ブレイシングのある場合は2t、4t、6t、7tの4段階で測定を行った。

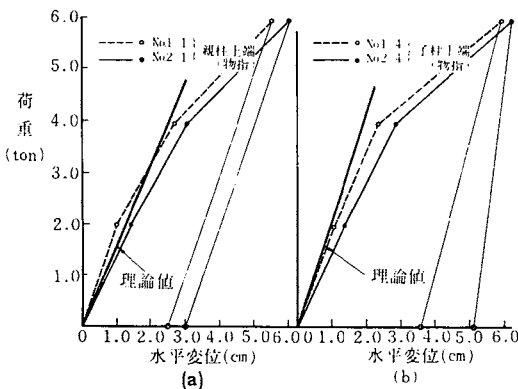
b) 実験結果

1. 道路軸直角方向

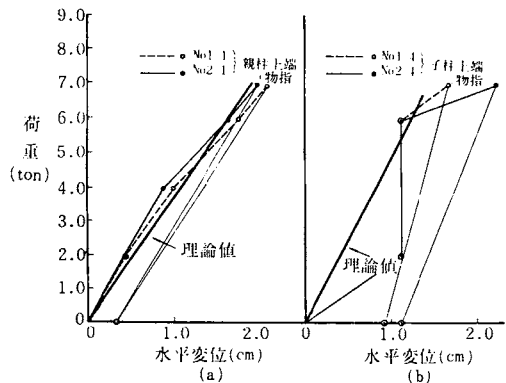
第15図(a)および(b)はそれぞれ、親柱上端および子柱上端での水平変位を横軸に、荷重を縦軸にとって荷重—水平変位の関係を示したものである。図中、実線はNo.2スノー・シェッドのものを、点線はNo.1のスノーシェッドのものを示している。

2. 道路軸方向

第16図(a)(b)および第17図(a)(b)はそれぞれブレイシングのない場合と有る場合の親柱上端および子柱上端での水平変位を横軸に、荷重を縦軸にとって荷重—水平変位の関係を示したものである。図中、実線はNo.2スノー・シェッドのものを、点線はNo.1スノーシェッドのものを示している。



第16図 荷重—変位図（道路軸方向、鉛直荷重
載荷、ブレイシング無し）



第17図 荷重—変位図（道路軸方向、鉛
直荷重載荷、ブレイシング有り）

3. 実験結果の検討および考察

(1) 主ばりの導入プレストレス

プレテンション方式でコンクリートにプレストレスを与えるときにコンクリートの弾性変形でPC鋼線の引張力の減少を生ずる。この減少後のPC鋼線の引張力 P_i は最初に与えた引張力を P とすると、

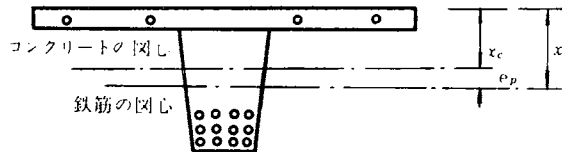
$$P_i = \frac{1 - \frac{nP}{2} \left(1 + \frac{e_p^2}{r_c^2}\right)}{1 + \frac{nP}{2} \left(1 + \frac{e_p^2}{r_c^2}\right)} P = \alpha P$$

にて与えられる。ここに、

A_c はコンクリートの面断積、 I_c はコンクリート断面の断面2次モーメント、 $r_c^2 = I_c / A_c$ 、 E_c はコンクリートのヤング係数、 e_p は鋼材断面の図心とコンクリート断面の図心との距離であり、 $n = E_p / E_c$ 、である。

測定断面 B, F, G についてこれらの値を計算したのが第3表である。プレストレス導入に際してはそりが生じ、死荷重による応力が生ずる。これにより応力計算したのが第4表である。したがって、プレストレス導入によって生じた応力はこれらの応力の組合せであり、得られた応力分布を第6図に点線で示してある。

第3表 導入プレストレスによる断面上下縁の応力



	$A_c(\text{cm}^2)$	$A_p(\text{cm}^2)$	$x_c(\text{cm})$	$x_s(\text{cm})$	$I_c(\text{cm}^4)$	$p = \frac{A_p}{A_c}$	r_c^2	e_p	α	$\sigma'_{ct}(\text{kg/cm}^2)$	$\sigma_{ct}(\text{kg/cm}^2)$
B	2,505	14.86	18.74	35.21	679,531	0.0059	271.2	16.49	0.936	11.6	269.1
F	2,539	14.86	18.55	28.23	688,381	0.0058	271.1	9.68	0.957	28.6	191.1
G	2,556	14.86	18.45	24.18	697,124	0.0058	272.7	5.73	0.964	52.0	150.1

測定値と理論値はきわめてよく一致しているのがわかる。

(2) 単純曲げ試験

第8図における太い線は応力分布の理論計算値を示しており、細線の測定値と比較してみると両者はよく一致していることがわかる。ただし、25tの荷重においては下縁での応力度の減少が見られるのはひび割れが測定断面間で生じ、応力緩和が生じたためと思われるが肉眼では観察出来なかった。肉眼で観察

第4表 死荷重による曲げ応力

断面	死荷重による曲げモーメント (t-m)	応力 (kg/cm ²)	
		上縁	下縁
B	5.156	-13.6	25.4
F	4.009	-10.6	20.3
G	2.593	-6.8	13.3

されるひび割れは 26.5t で生じ設計ひび割れ荷重と一致した。第 9 図の荷重－たわみ関係図において理論値を示した。両者はきわめてよく一致し、ひび割れ荷重までは全断面が有効に働くことがわかった。

(3) 水平荷重による応力および変形

水平荷重 $H_1=5.93$ ton に対する主ばりおよび親柱の理論値が実線で第 13 図に示され、鎖線の上下縁応力の実験値と比較されている。1～2 の断面を除いては両者はよく一致していることがわかる。また、柱を 5 つの等しい長さの要素に分割し各要素の midpoint の断面 2 次モーメントを用いて仮想仕事の原理から計算した水平変位は 1 ton につき 0.986cm であった。水平荷重とたわみの関係の実験値と理論値の比較を第 12 図に示している。実験値が折線からなっていること、および理論値よりたわみが小さいのは子柱の上下端でのヒンジが不完全で多少モーメントを伝達していることによっているものと思われる。

(4) 組合せ荷重による変形

a) 道路軸直角方向の変形

仮想仕事の原理より計算した水平変位が第 15 図に示されている。水平荷重が小さい範囲では測定変位は理論値よりも小さい。この理由は水平荷重のみの場合と同様、子柱上下端がヒンジとして働かないことによっているものと思われる。大きい荷重では No. 1 と No. 2 のものとの中間にある。No. 2 スノー・シェッドの変位が No. 1 より大きいのは荷重が偏心してかかっていることによっている。

b) 道路軸方向の変位

1. ブレーシングのない場合

道路軸方向変位の理論計算はこのままでは複雑となるので主ばりフランジの剛度を道路方向変位に対して無限大であると考え、柱の変断面を考慮して仮想仕事の理論によった。これにより親柱上端に作用する道路方向水平荷重 1 ton につき 0.636cm の水平変位が得られた。これを実験値と比較したのが第 16 図である。荷重の小さい範囲では両者は一致しているが大きい荷重では実験値が大きくでている。これは、曲線部分に用いるスノー・シェッドを直線として用いたことによるスノー・シェッドのフランジ間の間隙によるもので実際のスノー・シェッドでよく一致するものと考えられる。

2. ブレーシングが有る場合

理論計算においては、前項の仮定の他に、X型ブレーシングのうち圧縮となるブレーシングは有効でなく親柱の縮みを無視し仮想仕事の原理より水平変位を計算すると 0.2708cm/t となる。

第 17 図はこの理論値と実験値を比較したもので両者はよく一致している。

4. 結 論

道路軸方向および道路軸直角方向のスノー・シェッドの一体性を検討するために種々の実験を行い理論値との比較を行った。

その結果

1. 導入プレストレスは理論値とよく一致した。
2. ひび割れ荷重は設計値とよく一致し、ひび割れ荷重までは全断面が一体となって働いていることがわかった。
3. 鉛直荷重が作用している場合および作用していない場合とも道路軸直角方向のスノー・シェッドの挙動は設計の仮定を完全に満足し隅角部も剛結と考えられる。
4. 本実験では道路軸方向の変位は計算より多少大きく出たが、これは、曲線部分に使用するスノー・シェッドを直線で組立てたことによるスノー・シェッド相互間の間隙によるもので実際のスノー

• シェッドにおいては理論とよく一致するものと思われる。またプレーシングを入れることにより水平変位を $1/2$ に減少できることがわかった。これにより、このスノー・シェッドは設計の仮定を十分に満足するものであり道路軸方向および直角方向共に一体となって働くことがわかった。

尚、本実験においては、日本プレビームK.K.および富山県土木部道路維持課の協力を得たことを付記して感謝の意を表します。

(昭和48年5月18日)