

Research Reports of the Research Institute  
of Industrial Safety, RIIS-RR-93, 1994  
UDC 693.546.3 69.033 69.057

## コンクリートポンプ工法において 足場に作用する荷重等について

河尻義正\*, 小川勝教\*, 大幢勝利\*

### On the Load Acts on Scaffolds Installed with a Pipe for Placing Concrete by a Pump

by Yoshimasa KAWAJIRI\*, Katsunori OGAWA\* and Katsutoshi OHDO\*

**Abstract;** In concrete placing by pump, occasionally, scaffolds are used as a structure to support a concrete pipe. In such cases, the scaffolds bear the loads caused by vibration of the pump and if strength of the scaffolds is insufficient for them, parts of the scaffold may break, and in the extreme case the whole may collapse. There are reports that the ledger of frame-scaffold was broken. To prevent these accidents, it is necessary to investigate such loads and to brace the scaffolds so as to bear them.

Experiments were carried out to clear the loads acting on the frame-scaffold and to verify the strength of scaffold frame against them.

From the results of these experiments, it was shown that repeated loads acting on the scaffold were considerable and they brought excessive stress on the ledger installed with the concrete pipe.

Following proposals are made as safety countermeasures:

- (1) Concrete pipes shall not be attached to scaffolds. However, in unavoidable cases.
- (2) Frames installed with a concrete pipe and their next frames in both sides shall be braced for securing the columns against 2tonf in addition to live load per column, as well as the ledgers against 2tonf per connection.
- (3) To distribute the load, connections between scaffolds and a concrete pipe shall be provided as many as possible and screw jacks of columns or suspending chains shall be properly adjusted.

**Keywords;** Concrete pump, Concrete placing, Frame scaffold, Concrete piping, Repeated load

#### 1. はじめに

コンクリートポンプ工法においては、高所にコンクリートを圧送する場合に、圧送用の輸送管の支持構造物として作業足場を利用することがある。

この場合、足場には圧送時の振動に起因するかなり大きな衝撃力が作用し、それによって足場の一部が破損したり、場合によっては足場全体の倒壊事故に

発展する恐れがある。少例ではあるが、過去に、こうした原因で配管取付け部分の足場の横架材が破断した例が報告されている<sup>1)</sup>。

このような事故を未然に防止するには、コンクリート圧送時に足場に作用する荷重等を明らかにするとともにそれに対する何らかの対策が必要と思われる。

参考文献<sup>2)3)</sup>では、輸送管の足場への取り付けは好ましくないこととし、やむをえない場合の足場の補

\*土木建築研究部 Construction Safety Research Division

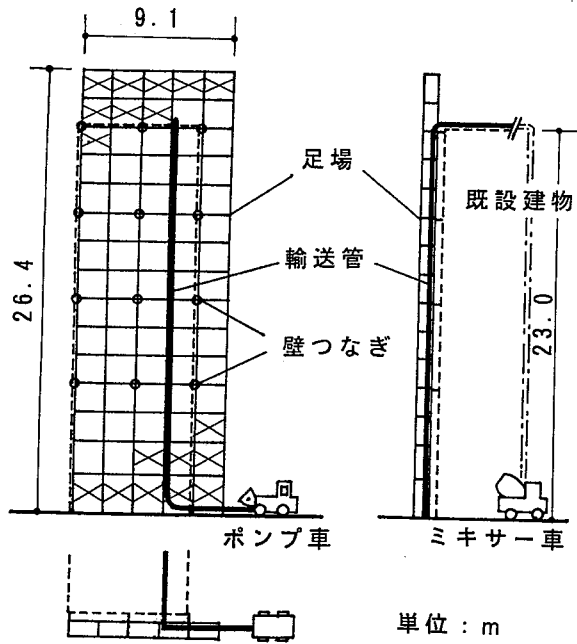


Fig. 1 Outline of concrete placing test.  
コンクリート圧送実験の概要

強方法を示しているが、作用荷重の大きさ等の具体的数値は示されていない。

そこで、打設時に足場に作用する荷重等を明らかにするため、実大の足場を用いて模擬実験を行うとともに、得られた荷重に対し、足場の横架材の強度実験を行ってその安全性を検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 作用荷重に関する実験

実験は、実大の足場に取り付けた輸送管にコンクリートを圧送するとき足場に作用する荷重等を測定する方法によって行った (Fig. 1)。

圧送方法は、ミキサー車のコンクリートをポンプ車により輸送管を通して建物屋上まで圧送し、それをホースにより地上のミキサー車に回収して再度使用する方法で、実際の打設工程に模擬させた。

コンクリートポンプは、三菱重工業製油圧ピストン式、DC-A900B、最大吐出量 65 m<sup>3</sup>/h、理論吐出圧力 65 kgf/cm<sup>2</sup> とし、輸送管は、主に長さ 3m の引き抜き鋼管 (125A-5B) とした。

供試足場は、既設建物に沿って建てた 5 スパン 15 層の枠組足場で、建物屋上から 2 層の立ち上がり部分を有するものである。足場構成部材の建柱と交さ

Table 1 Materials of frame-scaffold.  
枠組足場の主要材料

	材料と寸法	mm
建柱 914× 1725mm	脚柱 JIS G 3444 3種 STK 500	42.7× 2.5
	横架材 JIS G 3444 3種 STK 500	42.7× 2.5
	補剛材 JIS G 3444 2種 STK 400	27.2× 2.0
交さ 筋かい	JIS G 3444 2種 STK 400	21.7× 2.0

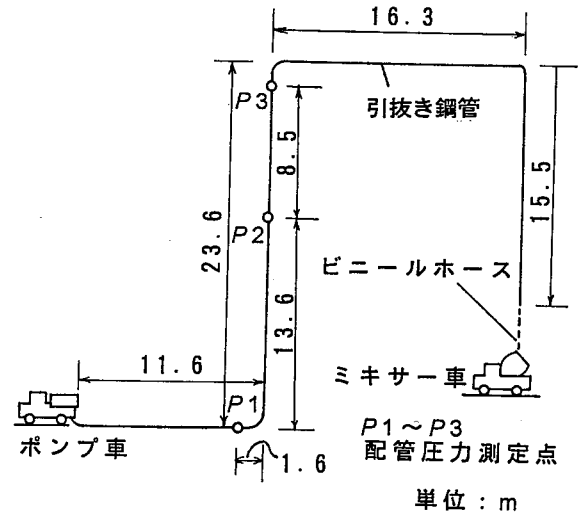


Fig. 2 Concrete piping route.  
コンクリート配管経路

筋かいの材料を Table 1 に示す。

輸送管の配管経路は、Fig. 2 に示すように地上の水平管から鉛直管を立ち上げ、屋上で水平管につなぎ、さらに鉛直管とビニールホースをつないでミキサー車に回収するものである。この場合、2カ所の鉛直管により水平反力が相殺されて実際の打設時に比べて水平方向の振動が小さくなる可能性があるため、一部の試験では屋上の水平管の途中を外した経路についても行った。

輸送管の足場への取り付け方法は、Fig. 3 に示すように、現場でよく見かけるつり足場用のつりチェーンを巻き付ける方法を想定したもの (a) と、特注の金具により固定する方法でチェーンに比べてかなり堅固に固定する方法を想定したもの (b) の 2 種類とした。また、両方法の取り付け位置を Fig. 4 に示す。

輸送管の既設建物への取り付けは、背面の鉛直管部分の垂直管 3カ所をチェーンにより固定した。屋上の水平管部分、地上の水平管部分は特に固定しなかった。また、輸送管が水平から鉛直に立ち上がる

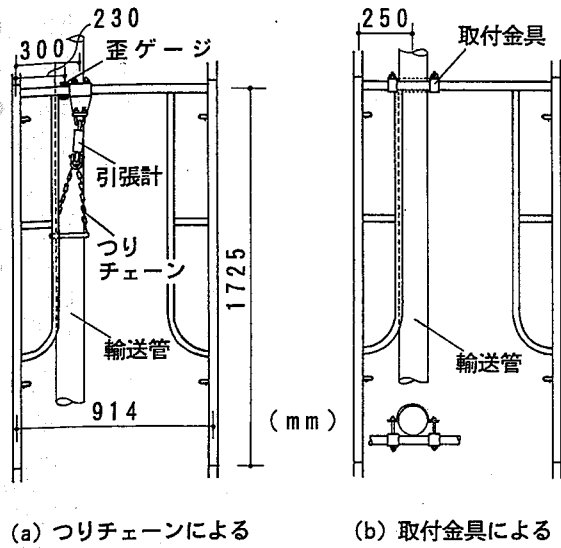


Fig. 3 Installations of concrete pipe.  
コンクリート輸送管の取付方法

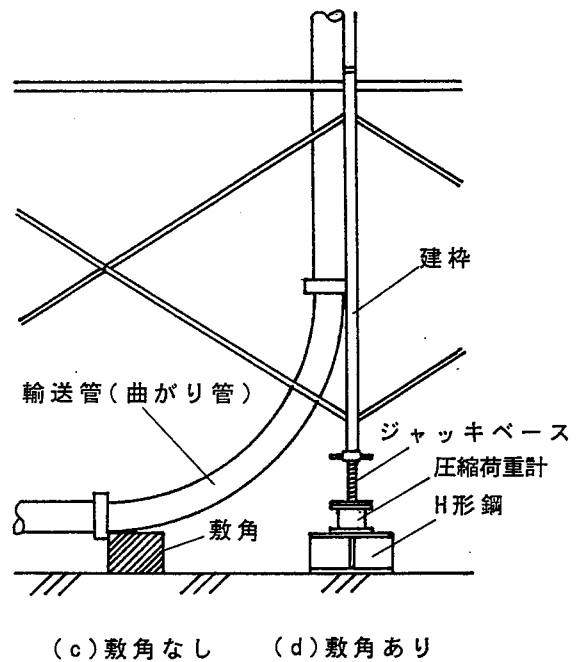
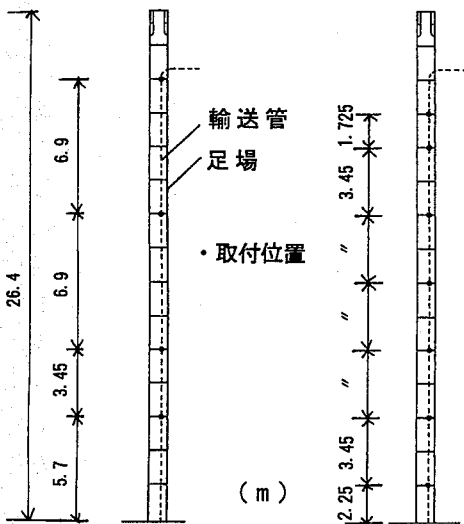


Fig. 5 Support conditions for the lower end of the vertical concrete pipe.  
垂直輸送管下端の支持方法



(a) Fig. 3の(a)の取付位置 (b) Fig. 3の(b)の取付位置

Fig. 4 Arrangements of installations for concrete pipe.  
コンクリート輸送管の取付位置

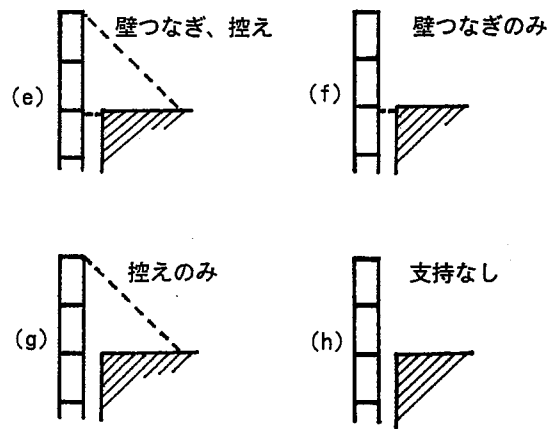


Fig. 6 Support conditions for the scaffold projected from roof.  
足場立ち上がり部の支持方法

曲がり管部分は、一般に大きな荷重を受けるので、座付きの曲がり管等を用いてアンカー等で堅固に固定する必要があるとされているが、ここでは、Fig. 5に示すように地面との間に敷角 (150×200 mm) を敷いて支持する場合と、敷き角なしで特に支持しない場合との2種類とした。さらに、足場の立ち上がり部分の駆体への支持方法は、屋上部分での壁つなぎと足

場最上端での単管による控えの有無の組み合わせによる Fig. 6 の4種類とした。

コンクリートは、呼び強度 240 kgf/cm<sup>2</sup>、粗骨材の最大寸法 20 mm のレディミクストコンクリートでスランプを 18 cm と 10 cm の2種類とした。

実験は、上記の条件のうち、輸送管の足場への取り付け方法を条件 1 (Fig. 3 の a と b)、輸送管の立

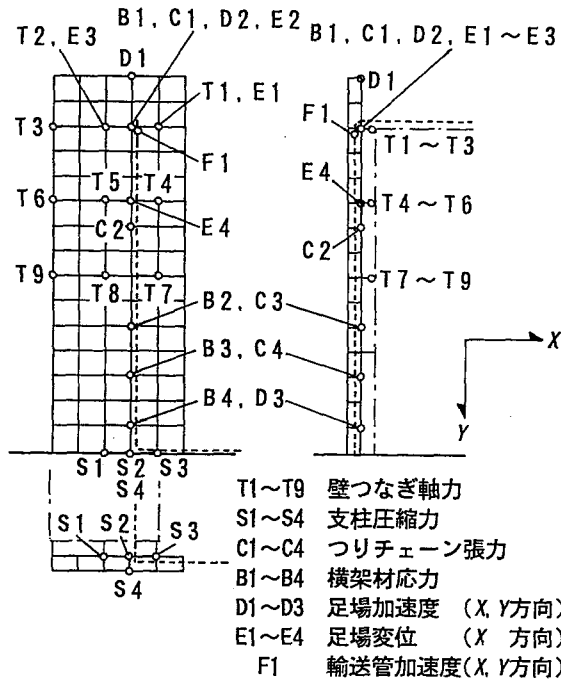


Fig. 7 Setting points of sensors. 荷重等の測定位置

Table 2 Summary of experimental conditions. 実験条件

実験記号	実験条件				実験記号	実験条件			
	1	2	3	スランプ		1	2	3	スランプ
A	a	c	f	18 cm	L	b	d	g	18 cm
B	a	c	e	18	M	b	d	h	18
C	a	c	h	18	N	b	c	h	18
D	a	c	g	18	O	b	c	g	18
E	a	d	g	18	P	b	c	e	18
F	a	d	h	18	Q	b	c	f	18
G	a	d	e	18	R	a	c	f	10
H	a	d	f	18	S	a	c	e	10
I	a	d	f	18	T	a	c	e	10
J	b	d	f	18	U	a	c	g	10
K	b	d	e	18	V	a	c	h	10

実験条件 1 a, b: Fig. 3 の (a), (b)  
 2 c, d: Fig. 5 の (c), (d)  
 3 e, f, g, h: Fig. 6 の (e), (f), (g), (h)

ち上がり部の支持方法を条件 2 (Fig. 5 の c と d), 足場の立ち上がり部分の支持方法を条件 3 (Fig. 6 の e~h) として, それら及びスランプを Table 2 のように組合せた場合のそれぞれについて, 吐出量を 23, 30, 37, 44, 55, 65 m<sup>3</sup>/h の 6 段階に変えて行い, 1 回の実験におけるポンプの吐出数は, 5~7 とした。

測定は, ①輸送管内の圧力, ②足場の壁つなぎの

軸力, ③足場の支柱の軸力, ④輸送管を足場に取り付けるつりチェーンの張力, ⑤足場の横架材の応力, ⑥足場及び輸送管の変位及び加速度について行った。輸送管内の圧力の測定点を Fig. 2 に, その他の荷重等の測定点を Fig. 7 に示す。

各量の検出方法は, 輸送管内の圧力は輸送管の内壁に取り付けた圧力計により, 足場の壁つなぎの軸力はストレインゲージを貼った壁つなぎ金具により, 及び横架材の応力は Fig. 3(a) に示す位置の上下の表面に貼ったストレインゲージにより検出した。また, 支柱の軸力は Fig. 5 に示すように支柱下端に取り付けた圧縮荷重計により, つりチェーンの張力は Fig. 3(a) に示すように引張荷重計により検出した。

検出したデータは, サンプル周波数 200 Hz で AD 変換し, 磁気テープに収録した。

### 2.2 横架材の強度実験

前節の実験の結果明らかになった足場の横架材への作用荷重に対し足場の強度を確認するため, 強度実験を行った。実験は, Fig. 8 に示すように, 油圧型アクチュエータ (東京衡機製造所製, 定格荷重容量 20 tf) を用いて足場の横架材に正弦波荷重制御による繰り返し荷重を与えたときの, 足場の変形, 破壊状況を観察するとともに横架材の応力を測定した。

供試体は, 作用荷重の実験に用いた足場と同じ型式の枠組を Fig. 9 に示す 3 種類の構造に組み上げたものとした。繰り返し荷重の上限・下限値は, 作用荷重に関する実験の結果から得られたつりチェーンの張力の最大・最小値とし, また, 加力点は, 現場でのつりチェーン位置を想定した位置とし, 加力方向は下向きとした。繰り返しの周波数は 0.5 Hz とし, 一部の試験では 2 Hz に設定した。

横架材の応力は, Fig. 10 に示す位置に貼ったストレインゲージにより検出した。

## 3. 実験結果

### 3.1 作用荷重に関する実験

#### 1) 振動の状況

コンクリートの輸送に伴って, 輸送管及び足場の鉛直及び水平方向の振動が観察された。輸送管の振動は, 足場への輸送管の取り付け方法により多少異なるが, チェーンによるものでは比較的足場と離れて別の動きをするのに対し, 金具によるものでは比較

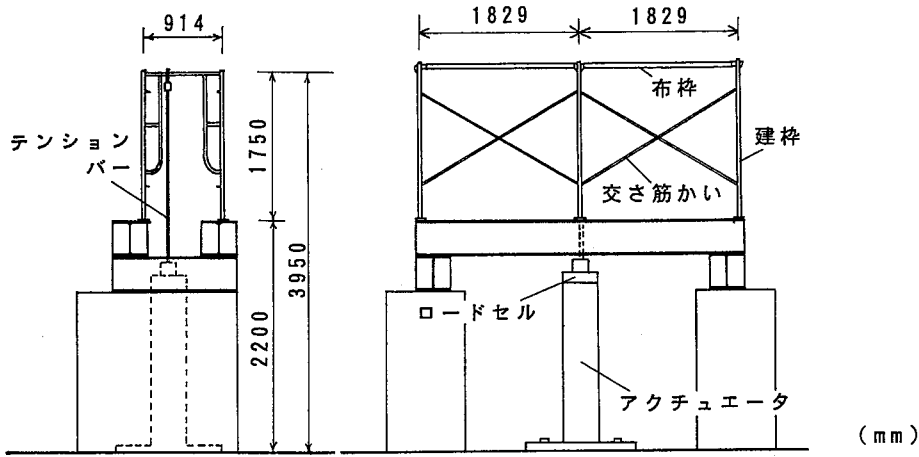


Fig. 8 Outline of cycle load test for ledger of frame.  
横架材の荷重試験方法の概要

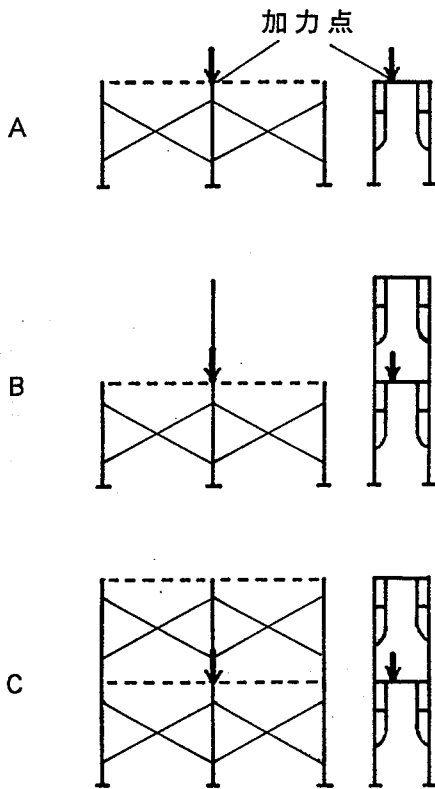


Fig. 9 Structures of specimen.  
供試体の構造

的足場と一体となって振動した。足場の振動は、輸送管の取り付けられた建柱で大きく、取付部から遠ざかるにつれて減衰する傾向が見受けられた。また、これらの振動は、吐出量大きいほど大きかった。

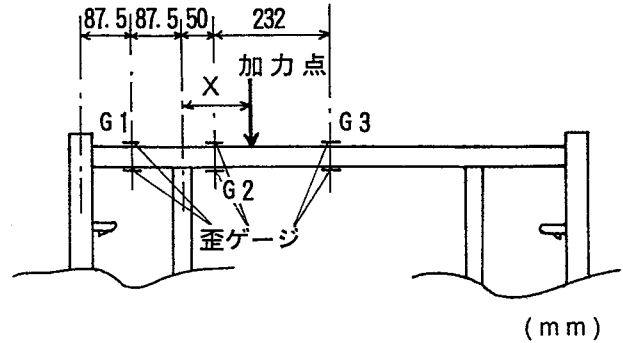


Fig. 10 Arrangement of wire strain gauge for ledger.  
横架材の歪ゲージ位置

2) 荷重等の経時変化について

Fig. 11 は、1 回の実験における壁つなぎ軸力、チェーン張力、支柱軸力及び横架材の応力の経時変化の例で、吐出量  $65 \text{ m}^3/\text{h}$  のときのもの (実験記号 S) である。各波形とも吐出時の衝撃とそれに続く減衰の繰り返しからなっている。繰り返しの周期は、コンクリートポンプの吐出間隔に一致するものと思われるが、吐出量の増加につれて減少し、吐出量  $23 \text{ m}^3/\text{h}$  で約 6 秒、 $65 \text{ m}^3/\text{h}$  で約 2 秒であった。

また、Fig. 12 は、壁つなぎ軸力、支柱圧縮力及び配管圧力について、衝撃部分の波形を周波数分析した例であるが、これによれば、周波数成分は 10 Hz 以下であり、卓越周波数は 2~5 Hz 付近にある。なお、データは省略するが周波数分布は吐出量にほとんど関係がなかった。

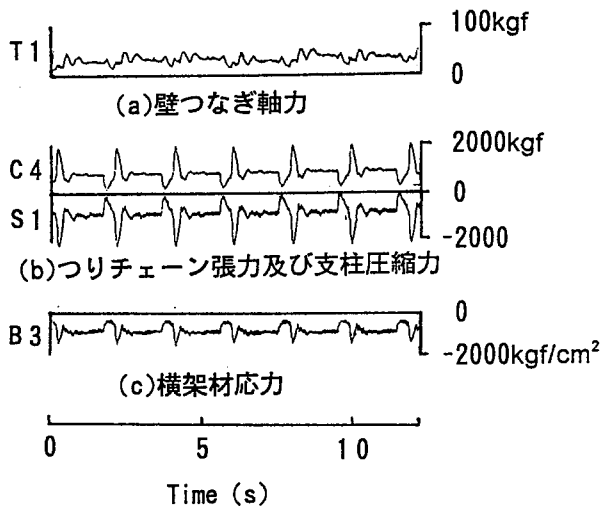


Fig. 11 Shock and vibration wave measured.  
測定量の波形の例

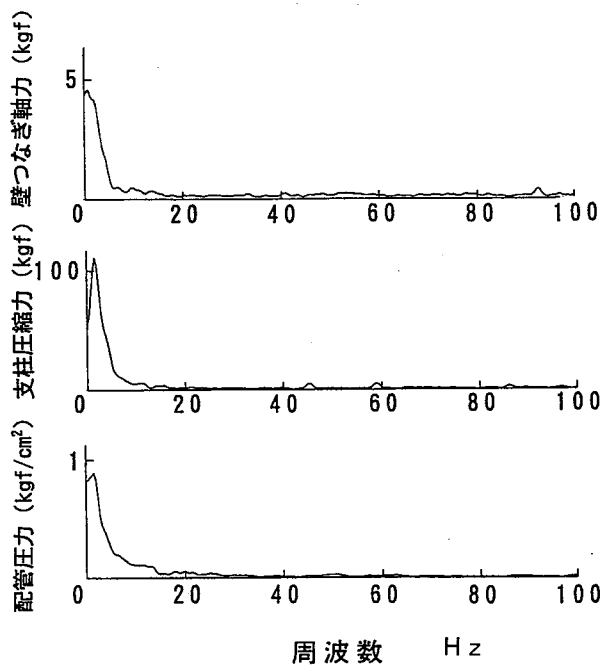


Fig. 12 Examples of spectrum of measures.  
測定量の周波数分析例  
(実験 A, 吐出力 50 m<sup>3</sup>/h)

### 3) 輸送管の管内圧力について

Fig. 13 は、輸送管内の 3 カ所の測定点 P1, P2, P3 における 1 吐出周期の圧力波形の例で、吐出量 65 m<sup>3</sup>/h の場合である。同図において、P<sub>a</sub> を第一波の最大値、P<sub>b</sub> を第二波の最大値、P<sub>c</sub> を減衰後の定常値、P<sub>d</sub> を最小値とすれば、測定点がポンプから

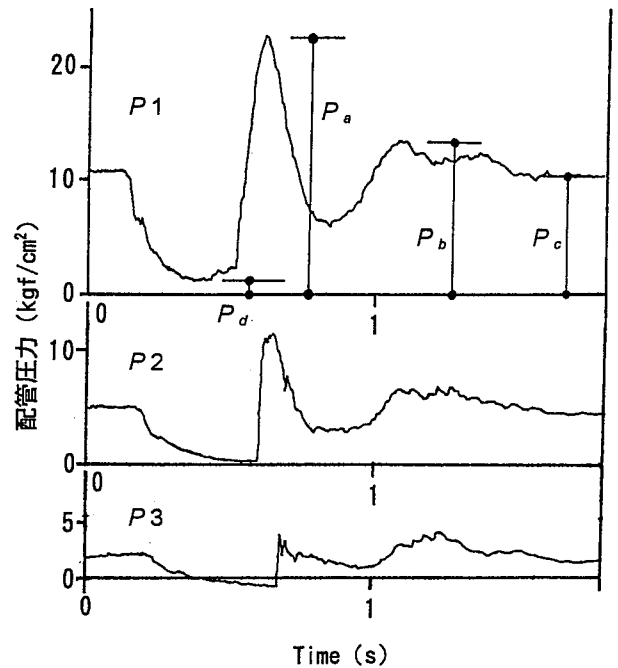


Fig. 13 Variations with time of concrete pipe pressure.  
管内圧力の時間的变化

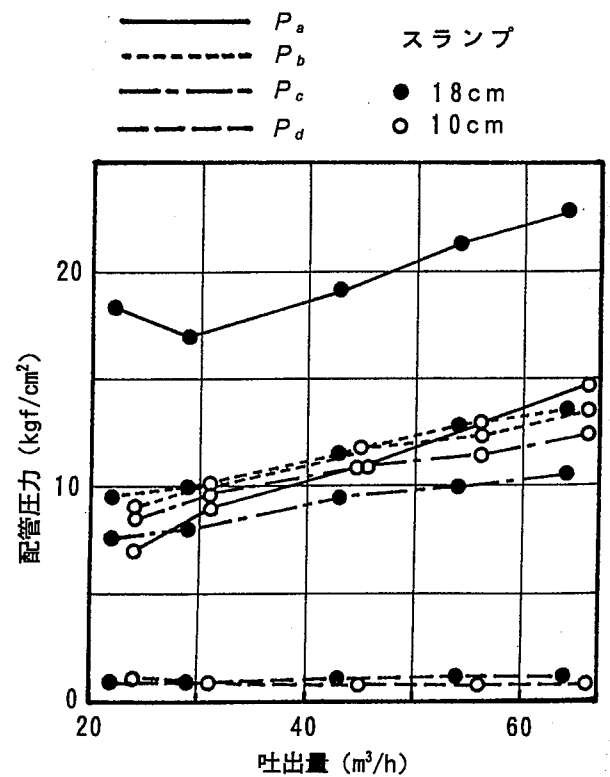


Fig. 14 Relation between concrete pipe pressure and concrete volume per hour.  
管内圧力と吐出量の関係

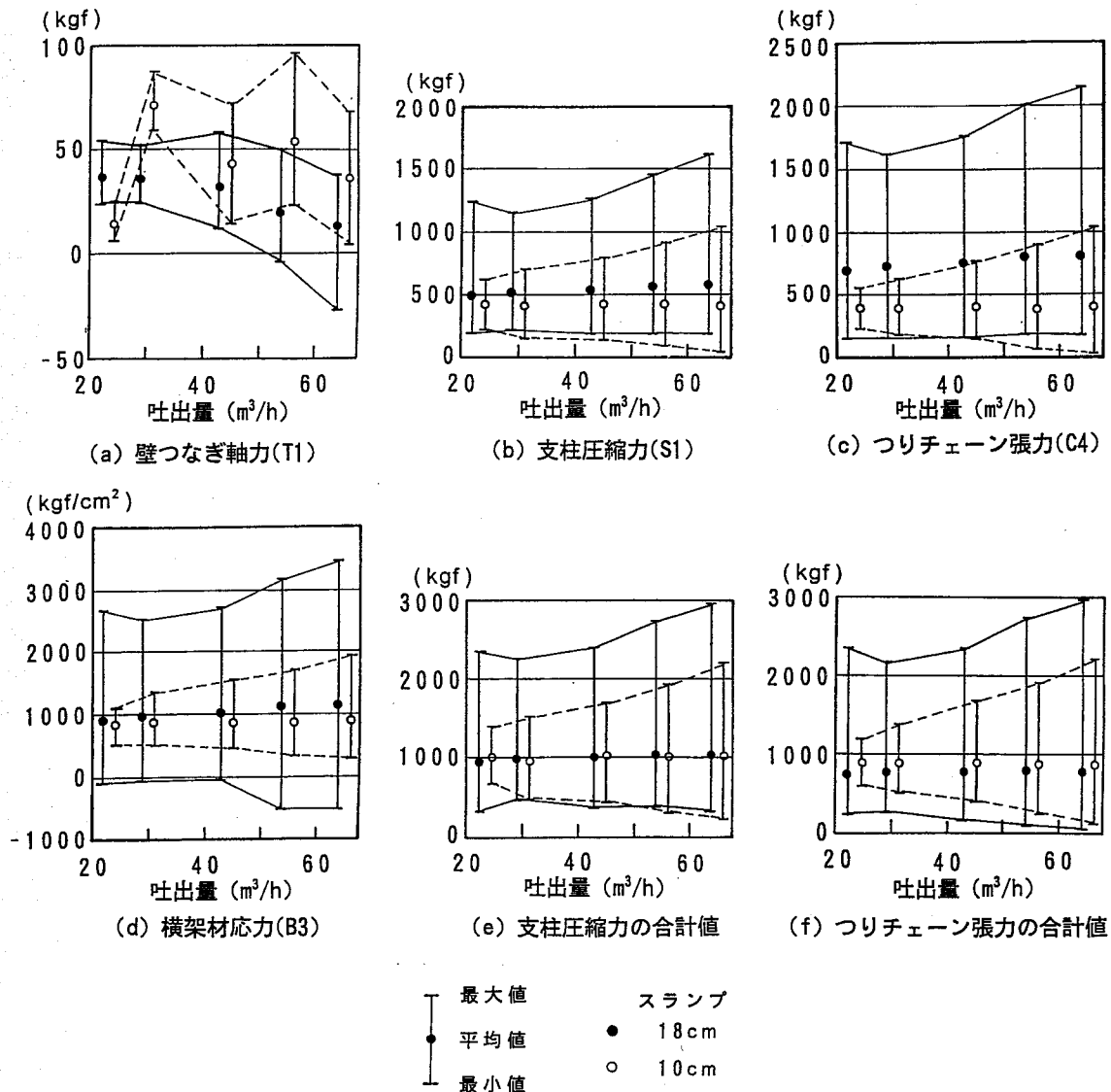


Fig. 15 Relation between maximum, average and minimum of measures and concrete volume per hour. 測定値の最大, 平均, 最小値と吐出量の関係

遠ざかるほど  $P_a, P_b, P_c$  とも小さくなり, データは省略するが,  $P_a/P_b$  や  $P_a/P_c$  も小さくなることが示された。

また, Fig. 14 は, スランプを除いた実験条件が同一の 2 つの実験 A 及び S について, P1 点の  $P_a, P_b, P_c, P_d$  と吐出量の関係を見たものである。同図によれば, 吐出量が増加すると,  $P_a, P_b, P_c$  は増加するが,  $P_d$  はあまり変わらない。また, 吐出量が等しい場合,  $P_a$  はスランプが大きい方が,  $P_c$  は逆にスランプが小さい方が, それぞれ大きいとみられる。なお, 上記の管内圧力に関する所見は文献 3) の付録

7. コンクリートポンプ車による特定配合コンクリート圧送実験報告書の結果にほぼ一致している。

#### 4) 足場に作用する荷重等

Fig. 15 は, スランプが異なる実験 A と S の場合の壁つなぎ軸力 (T1), 支柱圧縮力 (S1), つりチェーン張力 (C4), 横架材の応力 (B3) 及び支柱圧縮力の 4 点 (S1~S4), つりチェーン張力の 4 点 (C1~C4) それぞれの合計値について, 1 吐出周期における最大値, 最小値, 平均値 (いずれも 3 回の平均値) と吐出量の間をみたものである。

同図によれば, 鉛直方向の作用荷重に関連する支

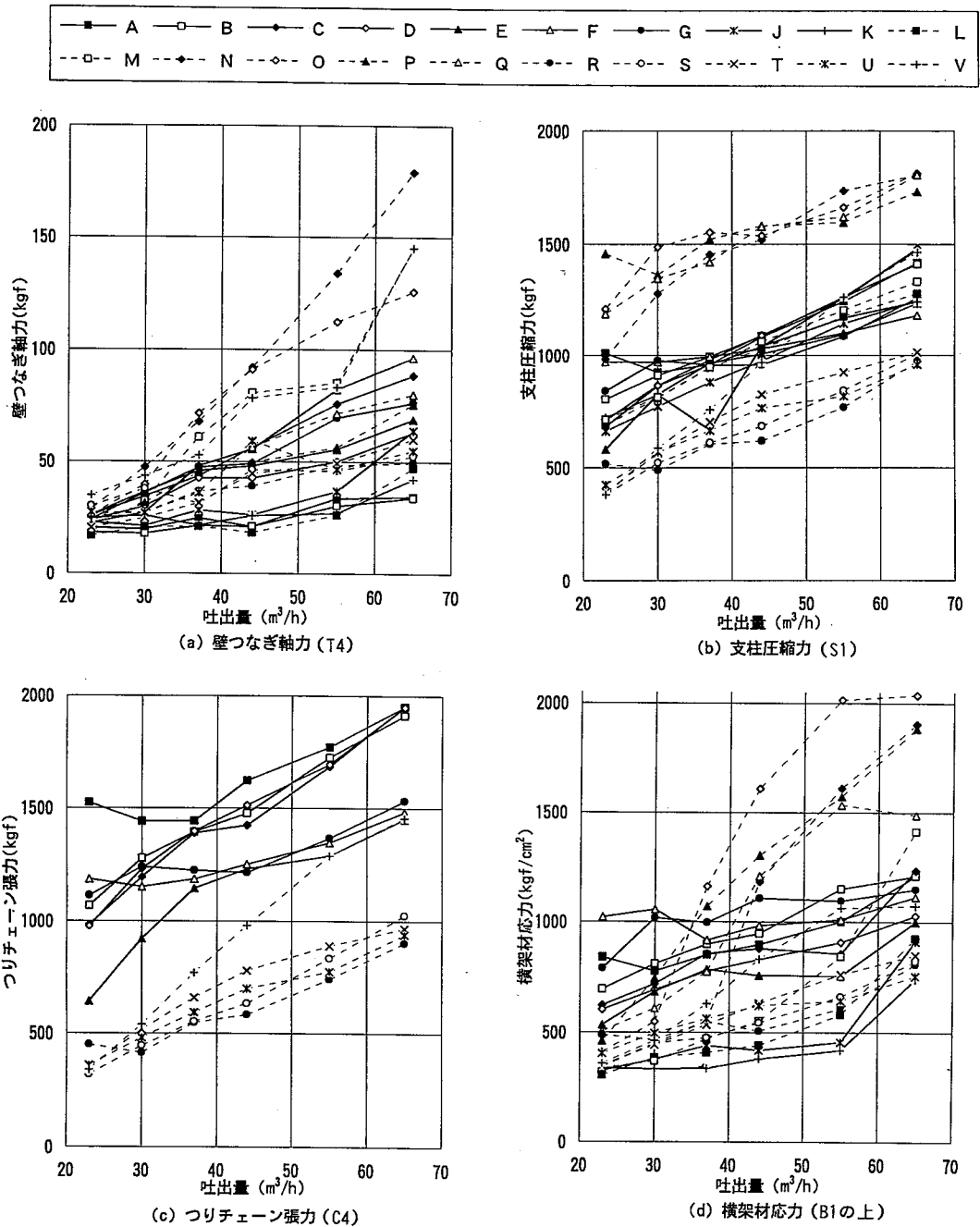


Fig. 16 Relation between  $P-P$  values of measures and concrete volume per hour.  
測定値の  $P-P$  値と吐出量の関係

柱圧縮力 (b), つりチェーン張力 (c), 横架材応力 (d) は、吐出量が増しても最小値はあまり変わらないが、最大値はほぼ直線的に増加し、 $P-P$  (最大-最小) 値は増加する。また、これらの荷重等に及ぼすスランプの影響をみると、最大値はいずれもスランプ 18 cm の方が大きい。一方、水平方向の作用荷重に関連する壁つなぎ軸力 (a) は、吐出量が増しても各値とも横ばいか減少し、 $P-P$  値は多少増加する程度であり、

スランプ 18 cm に比べ 10 cm の場合の方が大きいことがわかる。また、同図の (e), (f) によれば、支柱圧縮力の合力とつりチェーン張力の合力がほぼ等しいことから、つりチェーンを介して足場に伝わった荷重の大半が荷重を測定した 4 本の支柱に作用したこと、及び、全体で最大 3 tf 程度の鉛直方向の荷重が足場に作用したことがわかる。さらに、データは省略するが、壁つなぎ軸力の測定点 9 点の合計値が



ら全体で 300 kgf 程度の水平荷重が作用したことがわかった。

次に、実験条件と各量の関係を調べるため、全実験の  $P-P$  値、最大値または最小値を比較した。 $P-P$  値と最大（最小）値に着目したのは、振動の定量化において、前者は荷重や変形の動的成分の強さを、後者はその上（下）限をとらえる場合の指標になると考えたからである。

Fig. 16 は、主な測定量について、 $P-P$  値と吐出量との関係を見た例で、Table 3 には全結果を示した。同表の「 $P-P$  値」の欄は、同一吐出量における  $P-P$  値が比較的大きい値を示すときと比較的小さい値を示すときの実験記号、及び  $P-P$  値の最大値とそのときの実験記号を調べたものである。また、「最大値」、「最小値」の欄は吐出量に関係なく最大値、最小値とそのときの実験記号を整理したものであるが、大部分が吐出量  $65 \text{ m}^3/\text{h}$  の場合のものである。なお、支柱圧縮力、つりチェーン張力及び配管圧力は、最大値が重要であるので最小値は省略した。

これらを分析した結果、実験条件とそれぞれの値の間には次のような傾向が認められた。

#### (1) 壁つなぎの軸力

壁つなぎの軸力は、足場の上方ほど、また、配管取付け部に近いほど大きい。

$P-P$  値は、測定点 T1~T3 では実験 G, P, Q, I などの場合に、T4~T9 では N, V, O などの場合に大きいことから、前者では条件 3（足場の立ち上がり部の支持方法：Fig. 6 参照）が e 及び f の場合に、後者では同じく g 及び h の場合に  $P-P$  値が大きいといえる。これは、e 及び f の場合は測定点 T1~T3 が存在するが、g 及び h の場合は壁つなぎを設けていないことから、当然の結果といえる。

最大値（引張力の最大値）は実験 P の測定点 T5 で 105 kgf、最小値（圧縮力の最大値）は実験 P の測定点 T2 で 194 kgf であった。

#### (2) 枠組の支柱（脚柱）の圧縮力

脚柱の圧縮力は、4 箇所測定値にばらつきがあるが、これは、組立時における支柱下端のジャッキベースの締め具合の不整によるものと思われる。

$P-P$  値は実験 Q, P, O などの場合に大きく、R, S, U などの場合に小さいことから、条件 1 (Fig. 3 参照) が b で条件 2 (Fig. 5 参照) が c のとき、及び、同様に条件の組み合わせが a, d のときに大きく、条件の組み合わせが a, c でかつスランプが 10 cm の

場合に小さいといえる。また、最大値は実験 Q の場合の測定点 S1 において測定され、自重を除いて 2132 kgf であった。

#### (3) つりチェーンの張力

つりチェーンの張力は、4 カ所の測定値のばらつきが大きい。これは、組立時におけるチェーンの張り具合の不整のためと思われる。

$P-P$  値は、測定点により異なり、例えば C2 では実験 R, S, T, U, V, C4 では実験 A, B, C, D の場合などに大きい。4 点の合計値の比較では条件による差はあまりなかった（データ省略）。また、最大値は実験 D の場合の C4 における 2175 kgf であった。

#### (4) 枠組の横架材の応力

横架材の応力は、ゲージを貼った断面の上下端で異符号で、かつほぼ等量の値を示すことから、枠の構面内には曲げ応力が生じている。

$P-P$  値は測定点により異なり、例えば測定点 B3 では実験 A, B, C, D の場合、B1 では P, O, N の場合などに大きい。応力の最大値、最小値は、それぞれ測定点 B3 の下側で実験 D の  $3804 \text{ kgf/cm}^2$ （引張）、同上側で A の  $-3287 \text{ kgf/cm}^2$ （圧縮）であった。

なお、実験後、建枠の輸送管の取り付け部においては、横架材の断面に永久変形が観察された。

#### (5) 輸送管の加速度

輸送管上端の加速度の  $P-P$  値は、水平 X 方向 (Fig. 7 参照) では、実験 B, C, E の場合、鉛直方向では C, D, E などの場合に大きい。最大（最小）値は、水平方向ではそれぞれ B のとき  $3.3G$ 、D のとき  $-3.4G$ 、鉛直方向については、測定途中  $\pm 5G$  でスケールオーバーしたため正確には測定出来なかったが、 $6G$  程度以上と推定される。

#### (6) 足場の加速度

足場の加速度は、水平 X 方向 (Fig. 7 参照) の  $P-P$  値は実験 I, P などで大きく、S, T などで小さい。最大（最小）値は、いずれも測定点 D1 で実験 N のとき  $1.8G$ 、 $-1.6G$  である。鉛直方向の  $P-P$  値は、I, P, Q などで大きく、最大（最小）値は、測定点 D2 で実験 Q のとき  $2.4G$ 、 $-3.1G$  である。

#### (7) 足場の変位

足場の水平 X 方向 (Fig. 7 参照) の変位は、 $P-P$  値では実験 N, O などの場合に大きく、K の場合に小さい。最大（最小）値は測定点 E2 において観測され、実験 F の場合最大 2.4 cm、同 Q の場合最小  $-5.1 \text{ cm}$  であった。

Table 3 P-P values, maximum and minimum of measures.  
測定値の P-P 値, 最大値および最小値

測定量	測定点	P-P 値			最大値	最小値
		大きい場合	小さい場合	P-P 値の 最大値		
壁つなぎ軸力	T1	GIPQR	BJKT	I 148	Q 87	P -140
	T2	APQ	JKT	Q 158	Q 95	P -194
	T3	JQRS	B	S 102	Q 34	P -116
	T4	NOV	BL	N 179	N 90	O -114
	T5	NOP	ABJST	N 181	P 105	O -111
	T6	FMN	EJKST	F 58	P 29	O -59
	T7	GHO	BJTU	O 80	T 66	I -45
	T8	FGO	KM	O 61	O 45	G -18
	T9	EFIQ	KMRTU	I 16	D 5	N -16
支柱圧縮力	S1	MOP	RSUV	O 1812	Q 2132	—
	S2	FGI	KRSUV	I 649	E 651	—
	S3	AHIPV	KLS	V 741	V 783	—
	S4	PQV	GIJKV	V 450	O 506	—
つりチェーン 張力	C1	FGI	RSUV	I 661	I 542	—
	C2	RV	AEFGR	N 1266	V 1089	—
	C3	IR	ACSTU	I 212	Q 488	—
	C4	AC	RS	D 1996	D 2175	—
横架材応力	B1 上	ONP	TU	O 2036	O 1504	—
	下	FO	KJ	O 1960	—	V -1693
	B2 上	PNO	TUV	P 959	—	O -710
	下	OPN	TUV	O 1221	P 1292	—
	B3 上	AC	KLMPQ	C 3437	—	A -3287
	下	ABCD	PQL	D 3484	D 3804	—
	B4 上	NO	Q	N 1266	—	N -1126
	下	NO	Q	D 1996	M 1256	—
配管圧力	P1	FGHI	KRSTU	H 26.8	H 27.5	—
	P2	AGIQ	MRUV	I 14.3	I 14.1	—
	P3	GHIOP	R	O 7.2	O 6.5	—
足場加速度	D1(X)	GINOP	JKLMR	N 3.4	N 1.8	N -1.6
	D2(X)	QPI	ST	D 2.2	D 1.2	I -1.3
	D2(Y)	IPQR	STUV	Q 5.6	Q 2.4	Q -3.1
配管加速度	F1(X)	BCEFH	RSTU	F 6.4	B 3.3	D -3.4
	F1(Y)	CDEHA	RSU	スケールオーバー	> 5	> 5
足場変位	E1	N	BKT	N 2.5	V 1.8	O -3.1
	E2	NG	KS	N 2.9	F 2.4	Q -5.1
	E3	N	ABJKR	N 1.6	V 0.5	O -3.1
	E4	NO	KJLT	N 0.8	H 0.8	O -0.9

(注) 「P-P値」, 「最大値」, 「最小値」欄のアルファベットは, 実験記号を表わす。また, 「大きい場合」, 「小さい場合」欄は実験記号を列挙したものを表す。

以上を総括すれば、足場に作用する荷重や応力は水平方向に比べ鉛直方向で大きい。また、 $P-P$  値や最大（最小）値については、輸送管を取付金具により取り付け、かつ、鉛直管の下端を支持しない場合や、輸送管をつりチェーンにより取り付け、かつ鉛直管の下端を角材で支持する場合、またはスランプが大きいときに比較的大きいといえる。一方、足場の変形は、足場の立ち上がり部が支持されていないとき比較的大きく、当然のことながら屋上部分の壁つなぎがない場合に揺れが大きくなるようである。また、駆体屋上の水平配管の途中を外した場合の実験データについて、配管を接続した場合と  $P-P$  値を比較したが、有意な差は得られなかった。

### 3.2 横架材の強度実験

本実験では、作用荷重等に関する実験の結果明らかになったつりチェーンの張力値を参考に、横架材への繰り返し荷重実験を行ったもので、実験条件と実験結果を Table 4 に示す。繰り返し荷重の上限・下限荷重値は、つりチェーン張力の最大値と最小値（実験 D の測定点 C4 の実測値）を参考に設定したものである。

荷重の繰り返しに伴う枠組の損傷の状況は、供試体により多少の違いはあるが、概ね、繰り返し数 200～500 で Fig. 17 の挿図に示す加力した建枠の溶接部分①に亀裂が発生し、続いて②、③、④、⑥等に亀裂が発生して発達し、最終的に加力点の⑤が曲げ破断した。なお、加力した建枠以外の建枠にはほとんど損傷は見うけられなかった。

Fig. 17 は、加力点の変位と繰り返し数の関係の一例で、上方の点線は各繰り返し毎の最大値を、下方の点線は同じく最小値を、それぞれ結んだものであり、また実線はそれらの平均値を結んだものである。同図からは、繰り返し数の増加につれて損傷が進展し、それとともに加力点の変位が徐々に増大し、最終的な破断に至ったことがわかる。

加力点が破断したときの繰り返し数は、1149～10982 と大きくばらついている。これは、上述した溶接箇所が順次亀裂破壊する過程において、溶接部分の強度にばらつきがあるため、それが加力点の曲げ応力、ひいては最終的な破断までの繰り返し回数にばらつきをもたらしたと推定される。また、今回のデータからは、供試体の構造、加力点の位置、繰り返しの周波数などとの相関は見受けられない。なお、

Table 4 Summary of experimental conditions and results for ledger.  
横架材に対する強度実験の条件と結果

番号	* 構造	** X cm	繰り返し荷重条件			破断時の繰り返し数
			周波数	上限値	下限値	
1	A	7	2 Hz	2 tf	0.2 tf	1571
2	A	7	2	2	0.2	3228
3	A	7	2	2	0.2	2964
4	A	7	0.5	2	0.2	5811
5	A	7	0.5	2	0.2	4907
6	A	7	2	2	0.2	1149
7	A	7	0.5	2	0.2	4472
8	A	7	0.5	2.3	0.5	4311
9	A	7	0.5	2.3	0.5	2432
10	A	7	0.5	2.3	0.5	5208
11	B	7	0.5	2	0.2	8161
12	C	13	0.5	2	0.2	3347
13	C	13	0.5	2	0.2	3074
14	C	6	0.5	2	0.2	10982

\* 供試体の構造, Fig. 9 参照

\*\* 加力点の位置, Fig. 10 の X

横架材が破断した繰り返し数は、コンクリートポンプの吐出周期から計算すると 5～16 時間に相当する。

Fig. 18 は、横架材の歪の繰り返し波形における最大値、最小値と繰り返しの数の関係の一例であるが、部材の上側と下側の歪がほぼ対象になっており、部材に曲げが生じていることがわかる。また、繰り返し数が少ないうちから G2 の下側で材料の降伏点に相当する  $2000 \times 10^{-6}$  の歪が生じていることがわかる。

以上、作用荷重に関する実験から得られた荷重を横架材への繰り返し荷重として与えた結果、ポンプの吐出量が  $65 \text{ m}^3/\text{h}$  の場合、5～16 時間の使用により枠の横架材が破断することが明らかになった。

## 4. 考 察

以上の結果をもとに足場各部の強度について検討し、安全上の留意点について考察する。

### 1) 壁つなぎ

壁つなぎ用金具の強度は、労働省の構造規格では引張、圧縮ともに 900 kgf 以上とされている。通常的设计では安全率を 2 とした 450 kgf を許容荷重とし、風荷重などを考慮して壁つなぎの配置を決定し

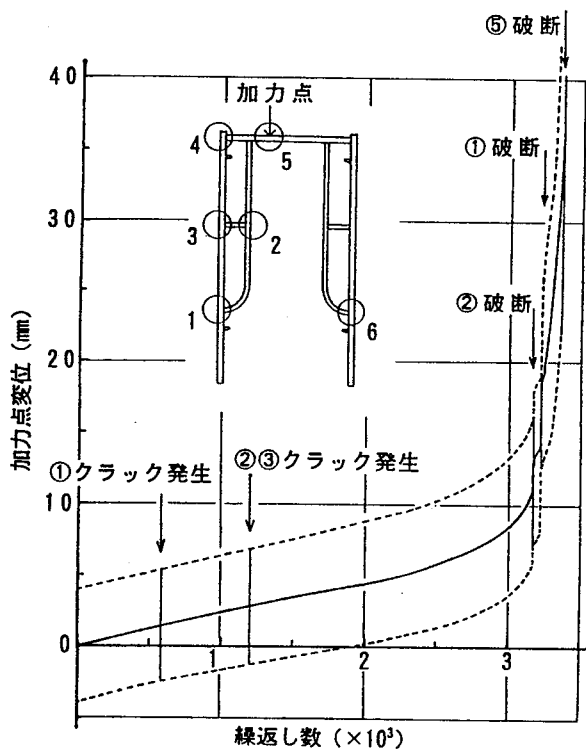


Fig. 17 Relation between displacement of load point and number of cycles in cycle load test. 繰返し荷重試験における加力点変位と繰返し数の関係の例 (Table 4 の実験番号 12)

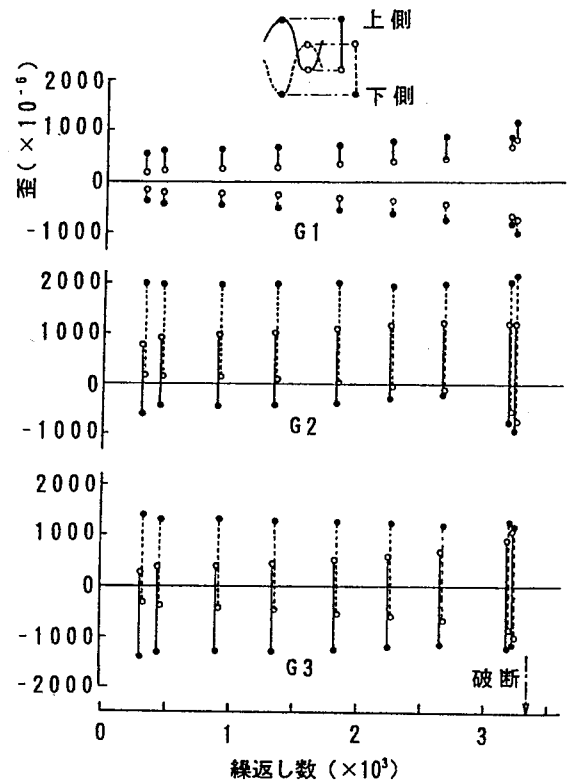


Fig. 18 Relation between strains of ledger and number of cycles. 横架材の歪と繰返し数の関係の例 (Table 4 の実験番号 12)

ている。今回の実測最大値は約 200 kgf なので、安全上問題はないが、強風が予測される場合には、両荷重が組み合わさって作用するものとして設計する必要がある。また、輸送管を取り付けた建柱には必ず壁つなぎを設け、かつその周辺の壁つなぎ間隔を通常より密にすることが必要と思われる。なお、文献 3) では、コンクリート打設階の水平配管による吐出反力に対処するため、足場と駆体間に補強トラスを設けることを提案している。

## 2) 枠組の支柱

鉛直荷重に対する建柱の強度は、労働省の構造規格によれば一枠当たり、7.5 tf 以上である。また、建柱をジャッキベースと組み合わせ、かつジャッキベースを最大に繰り出した状態の許容支持力は、実験結果などをもとに安全率を 2 として 3.8 tf とされている。これより、脚柱 1 本当りの許容支持力は 1.9 tf となる。

これに対し、本実験における実測値の最大は 2.13 tf であり、許容支持力を越えていることになる。また、

実測値に含まれていない自重や積載荷重及びジャッキの調節不整によるばらつきを考慮すると、現場での実際の作用力は許容支持力を大きく上回ることも考えられる。

しかし、この荷重は瞬間荷重であること、一部の脚柱への部分荷重であること、及び安全率をみていることから、脚柱が即、座屈することはないと思われるが、繰返し荷重であることから、疲労による強度の低下が考えられるので、打設が長時間にわたる場合にはなんらかの対策が必要である。

安全対策としては、多くの支柱に荷重が分散するように、ジャッキを出来るだけ正確に調節して荷重を分散させると同時に、場合によっては支柱を補強する必要がある。

## 3) つりチェーン

配管のつり材に用いたつり足場用のつりチェーン 1 本当りの強度は、労働省の構造規格によれば 1.6 tf 以上である。これに対し実測した最大値は 2.18 tf であるから、1 本のみでの使用では破断するおそれがある

る。また、締め具合の不整により特定のつりチェーンに荷重が集中し、さらに大きな張力になるおそれがあるので、施工に際しては、十分な安全率を有するようつりチェーンの本数を増やすとともに、巻き付け回数を多くすること、1カ所当たりの負担荷重がなるべく均等になるようつりチェーンの張り具合を調整することなどが重要である。

#### 4) 枠組の横架材

横架材に用いた材料の引張強度及び降伏点は、JIS規格によれば、それぞれ5100 kgf/cm<sup>2</sup> 以上及び3600 kgf/cm<sup>2</sup> 以上である。これに対し、横架材の曲げによって生じた歪の実測値から計算した応力度の最大値は、測定点 B3 の引張側において約 3800 kgf/cm<sup>2</sup> である。すなわち、横架材には降伏点を越える応力が繰り返して作用していたものと推測される。

このことは、実験後に横架材断面に残留変形が見られたこと、及び、横架材の強度実験結果からも明らかである。

安全対策としては、輸送管の横架材への取り付け箇所1カ所当たりの作用荷重を極力小さくすることが重要で、そのためには、つりチェーンの項で述べた措置をとることと併せて、横架材の補強が必要である。

以上に検討したように、作業足場を用いて輸送管を支持することには足場各部の強度上多くの問題があり、できれば別の方法で支持することが望ましい。やむをえず足場を支持物として用いる場合は、それぞれの項で述べた措置を講ずる必要がある。

## 5. おわりに

作業足場をコンクリート輸送管の支持構造物とした場合に足場に作用する荷重等について、また、建枠の横架材の強度について、それぞれ実大実験を行った。各種の条件と荷重等の関係を十分に解明することは出来なかったが、足場にはコンクリート圧送時に、特に鉛直方向に大きな衝撃荷重が作用し、一部の部材に過大な応力が生じており、損傷や破壊につながるおそれがあることが判明した。

安全対策としては、次のことが考えられる。

- 1) 足場を支持構造物としないことがまず第一の対策である。ブーム付きポンプ車を用いる方法や、建物の既設部分を利用して金物を取り付け、これに輸送管を取り付ける方法など足場に負担の

かからない圧送方法を用いる。やむをえず足場を利用する場合は次の点に留意する。

- 2) 輸送管を取り付けた枠組及びその両隣の枠組の支柱には自重や積載荷重のほかに支柱1本当たり2 tf、取り付け部分の横架材には1カ所当たり2 tf程度の衝撃荷重がかかるものとして設計し、または補強する。
- 3) 荷重が分散するように取り付け箇所をなるべく多くするとともに、各部材に均等に荷重がかかるようジャッキベースの締め具合やつりチェーンの張り具合を調整する。

さらに、圧送に際しては

- 4) 足場に作用する荷重等は圧送圧力に比例して増大するので、ポンプの吐出圧をあまり高くしない。たとえば呼び径125Aの輸送管の場合には、吐出量を50 m<sup>3</sup>/h程度以下とすることが望ましい。
- 5) 振動による変形やゆるみなどが無いか、絶えず足場各部を点検する。

なお、今回実験に用いたコンクリートのスランプは18と10 cmの2種類に設定したが、実験時間が約5時間と長い上に、一度圧送したコンクリートを回収して再度利用する方法としたため、時間とともにスランプが変化し、設定値を維持できなかったきらいがある。スランプが測定データに与える影響はかなり大きいと考えられることから、得られた結果(特にスランプに関する記述)について多少信頼性が劣ることは否めない。

(平成6年5月17日受理)

## 参考文献

- 1) 仮設工業会、コンクリート配管を建枠に取り付けた場合の荷重実測結果、未発表資料(1985)。
- 2) 日本建築学会、コンクリートポンプ工法施工指針・同解説(1994)。
- 3) 長尾信夫監修、コンクリートポンプ圧送マニュアル(1986)、全日本コンクリート圧送事業団体連合会技術委員会。
- 4) 仮設工業会、足場工事実務マニュアル(1992)、オーム社。
- 5) 労働省安全衛生部編、安衛法便覧(1992)、労働基準調査会。