

土木研究所資料

弥栄大橋ケーブル載荷試験報告書

昭和57年 2 月

建設省土木研究所
構造橋梁部 橋梁研究室

Copyright © 57年度 by P. W. R. I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P. W. R. I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

弥栄大橋は、山口県と広島県の境界を流れる小瀬川に建設される、弥栄ダムの付け替え道路の一部として架設される、中央径間240mの長大斜張橋であり、建設省直轄の斜張橋としては最大のものである。

本報告は、同斜張橋のケーブルとして採用される予定のHiAm（ハイアム）アンカーケーブルについて、載荷試験を行った結果を述べたものである。

本試験業務は、中国地方建設局の依頼により、土木研究所橋梁研究室が実施したものである。なお、供試体の製作は神鋼鋼線工業株式会社に、計測業務は新日本技研株式会社に委託したが、それぞれから多大な御協力を頂いたことをここに付記する。

本試験の結果、HiAmアンカーケーブルの弥栄大橋への適用については、とくに問題のないことが明らかになったが、今後同種の斜張橋を計画する際、本報告が何らかの参考となれば幸いである。

昭和57年2月

建設省土木研究所

橋梁研究室 室長 佐伯 彰 一

研究員 西川 和 廣

滝沢 晃

目 次

まえがき

1. 試験概要	1
1.1 弥栄大橋の概要	1
1.2 Hi Am アンカーケーブルについて	1
1.3 本試験の目的	2
2. 静的载荷試験	3
2.1 諸 言	3
2.2 供 試 体	3
2.3 試験方法	7
2.4 試験結果	17
2.5 ま と め	23
3. 疲労試験	24
3.1 諸 言	24
3.2 供 試 体	24
3.3 試験方法	25
3.4 試験結果	26
3.5 ま と め	31
4. 結 論	33

1. 試験概要

1.1 弥栄大橋の概要

弥栄大橋は、一般図を図-1に示すように、5径間連続斜張橋である。使用されるケーブルの本数は32本（16本×2面）であり、両端のバックステイケーブルの反力を橋脚に受け持たせる構造となっている。

最も張力の大きいケーブルは両端のバックステイケーブルで、設計最大張力は約560ton、張力の最大振幅は約250tonである。同橋に用いるケーブルとしては、維持管理が経済的で、張力振幅に対して強いことを考慮してHiAm アンカーケーブルが選ばれたが、国内での使用実績がまだ少ないこと、バックステイ用ケーブルの規模が世界的にみても最大級であることなど、使用に先立って性能の確認試験を行う必要がある。

弥栄大橋一般図

断面図

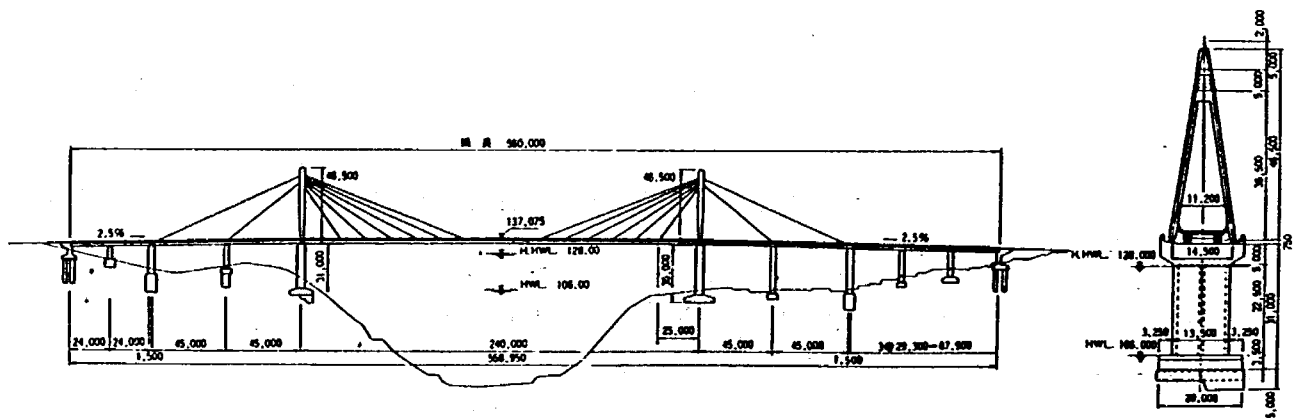


図-1

1.2 HiAm アンカーケーブルについて

HiAmとはHigh Amplitudeの略で、HiAm アンカーとは、斜張橋などの比較的変動荷重の大きな吊材の定着方法のことである。これは西ドイツで開発された方法で、欧米を中心に近年使用例が増えている。

HiAmアンカーの特徴としては、

- (1) ケーブルにめっきしないPC鋼線7mmφを平行に束ねて使用する。
- (2) 鑄込み材料としてエポキシ樹脂、鋼球および亜鉛粉末を用い、低温（室温～100℃位）で鑄込む。
- (3) ケーブル本体の防錆は、ポリエチレン管とセメントグラウトにより行う。

などがあげられる（図-2参照）が、このため次のような利点がある。

- (1) 亜鉛鑄込みに比べ高温を加えないためアンカー部ケーブルの疲労強度が高い。
- (2) より線に比べケーブルの弾性係数が高く、クリープが小さい。
- (3) ケーブルの防錆作業のためのキャットウォークを必要とせず、維持管理も不要である。

しかし、現状では通常の平行線ケーブルに比べて初期投資額が大きくなること、国内での製作および使用実績が少ないことなどの問題点も指摘されている。

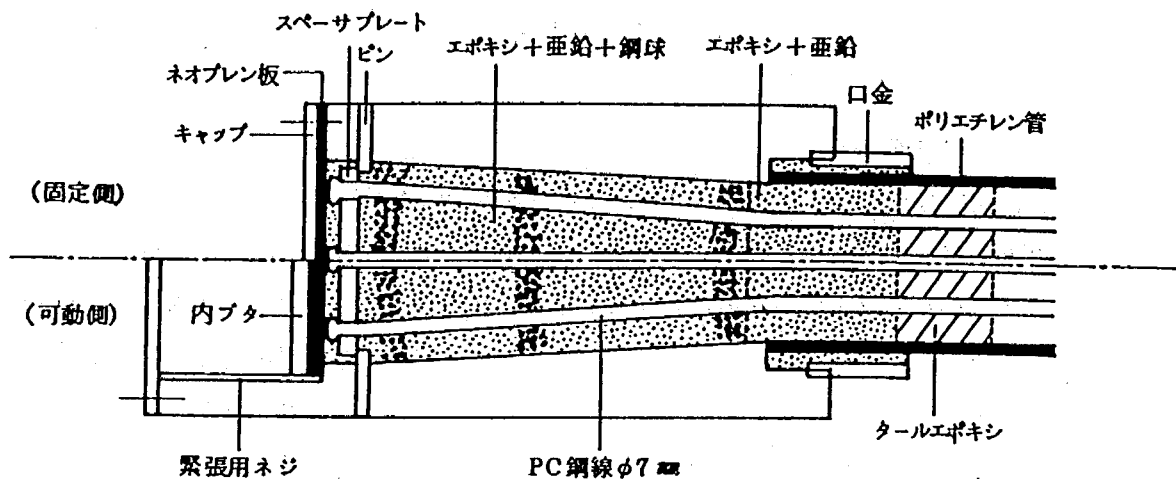


図-2 HiAm アンカーの断面

1.3 本試験の目的

本試験は、HiAm アンカーケーブルの基本的な性状に焦点を絞り、以下の点について確認することを目的としている。

- (1) 弥栄大橋で使用するケーブルのうち、最大断面を有する素線数301本のHiAm アンカーの鑄込みを実際に行い、製作上問題のないことを確認する。
- (2) 同様に、実物大ケーブルの引張り試験を行い、抜け出し量、ソケットの応力分布等、基本的な性状を明らかにし、通常行われている設計の妥当性を確認する。
- (3) HiAm アンカーケーブルの疲労強度に関する、従来の試験結果の信頼性について確認する。
- (4) 防錆用グラウトに生じるクラックが、疲労強度に影響をおよぼさないことを確認する。
- (5) 弥栄大橋では、タワー側定着部に引張形（ハンマー形）ソケットを使用することになっているが、同形ソケットでは隅角部に引張り応力が集中し、疲労の問題が発生することが予想されるので、これについても応力計測を行い、応力集中の程度について調べる。

試験は、以上のうち(1),(2),(5)については、最大径のケーブルの実物大供試体を製作して静的引張り試験を、(3),(4)については、小型（素線数19）供試体を製作して疲労試験を行うこととした。

2. 静的載荷試験

2.1 諸言

本試験は、弥栄大橋に使用される予定である HiAm アンカーケーブルのうち、最大径となる HiAm 301 (PC鋼線 7mm ϕ を 301 本平行に束ねソケットに鑄込んだもの) を実際に製作し、製作上の問題点の有無を確認するとともに、設計荷重およびそれを上まわる引張荷重を載荷し、基本的な諸性能に関するチェックを行おうとするものである。また、ソケットの設計方法についても検証するため、圧縮型および引張型のソケットをそれぞれケーブル両端に取付け、表面の応力を計測する。

2.2 供試体

(1) 寸法

静的引張試験用供試体の寸法を図-3 および図-4 に示す。素線数は 301 本で、両端に異った形状のソケットが取付けられている。

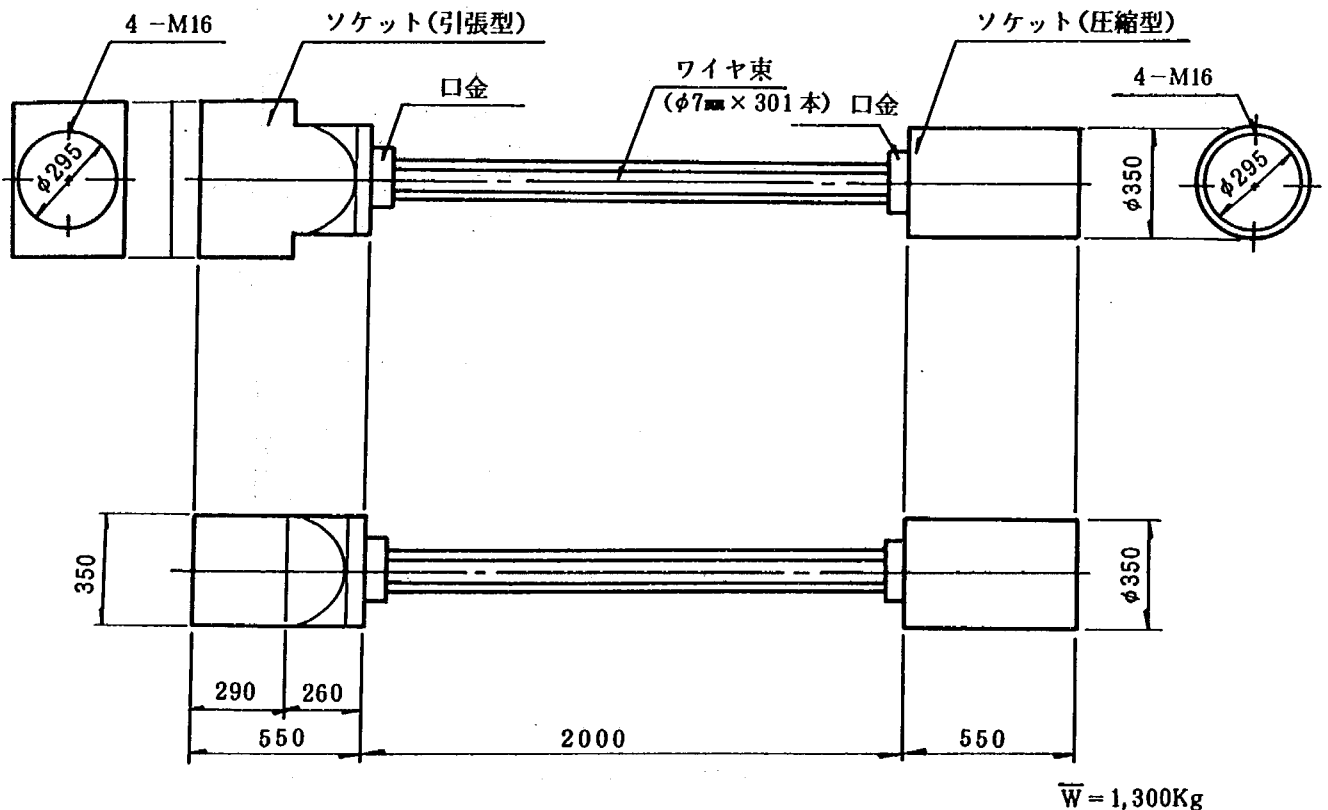
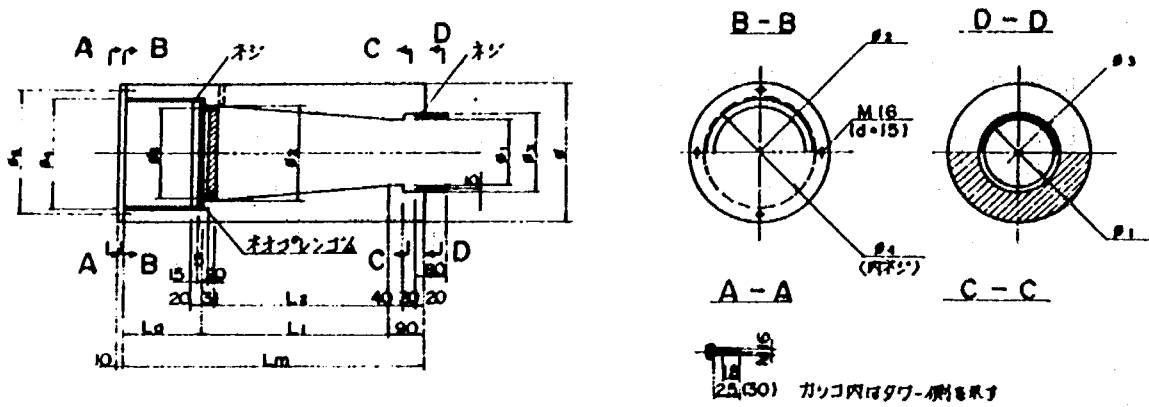


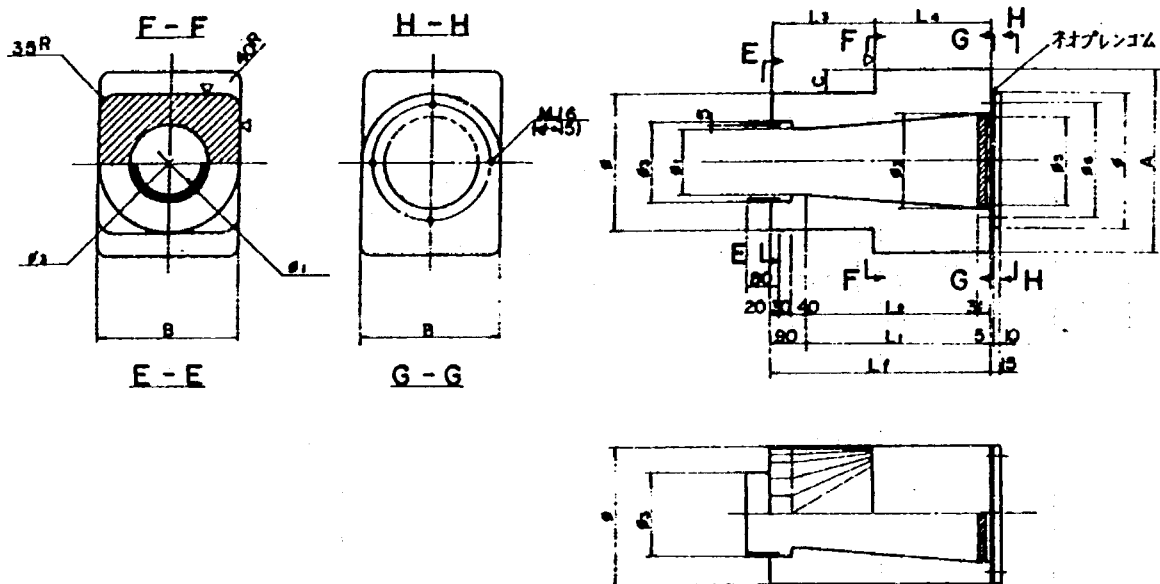
図-3 供試体 (HiAm 301)

本供試体の規格上の引張荷重、降伏荷重、安全率 $\nu = 3$ 、不均等係数 0.95 とした場合の許容荷重および安全率 $\nu = 1 / 0.45$ とした場合の許容荷重は表-1 に示す通りである。

圧縮型ソケット



引張型ソケット



ソケット寸法

φ	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	φ ₅	φ ₆	L _f	L _m	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L _a	A	B	C
350	168	238	195	270	235	310	350	750	460	429	260	290	200	490	350	70

図一4 ソケット寸法

表-1 HiAm 301の許容荷重等

	断面積 A_s mm^2	引張荷重 P_u $t (\text{kg}/\text{mm}^2)$	降伏荷重 P_y $t (\text{kg}/\text{mm}^2)$	$1/3 P_u$ $t (\text{kg}/\text{mm}^2)$	$0.45 P_u$ $t (\text{kg}/\text{mm}^2)$
規格 ※	標準断面積 11,580	以上 1,911 (165)	以上 1,685 (145)	602 (52)	860 (74)

※ 単線規格値よりの参考値

(2) 素線

素線に使用したPC鋼線は、JIS G 3536解説に示される規格のものを用いた。素線の引張試験結果を表-2に示す。

表-2 PC鋼線

	線 径 d mm	断面積 A_s mm^2	引張荷重 P_u $\text{kg} (\text{kg}/\text{mm}^2)$	降伏荷重 P_y $\text{kg} (\text{kg}/\text{mm}^2)$	伸び ϵ ※ %
規 格	7.00 ± 0.05	38.48	以上 6,350 (165)	以上 5,600 (145)	4.5
供 試 材	6.99	38.37	6,720 (175)	6,120 (159)	6.5

※ $GL = 100 \text{ mm}$

(3) ソケット

ソケット材料としては、S45Cを用い、鍛造→焼ナラシ（830～880℃空冷）→切削の過程を経て製作した。ソケット材料の引張り試験結果は表-3に示す通りである。

表-3 ソケット材料強度試験結果

	径 d mm	引張荷重 $\text{kg} (\text{kg}/\text{mm}^2)$	降伏荷重 $\text{kg} (\text{kg}/\text{mm}^2)$	伸び %
規格 (S45C)	—	以上 — (58)	以上 — (35)	以上 20
供試材 (引張型ソケット)	14.01	10,320 (67)	5,700 (37)	25
供試材 (圧縮型ソケット)	14.03	11,140 (72)	5,800 (37)	20

ソケットの寸法は、図-4に示す通りであり、引張型ソケット定着部の隅角は、 $R = 5 \text{ mm}$ としてある。

(4) 鋳込み

鋳込みに用いたエポキシ樹脂、鋼球および亜鉛粉末の混合物の強度試験結果を参考までに表-4に示す。

表-4 鋳込材強度試験結果

	曲げ強度 kg (kg/mm ²)	圧縮強度 kg (kg/mm ²)
規格※	1,500 (3.5)	19,200 (12)
供試材	1,800 (4.2)	22,700 (14.1)

※ 目標値

※※試験方法 : DIN 1164に準拠

(供試材寸法 40mm × 40mm × 160mm)

(5) 製作工程

製作工程の写真を写真-1～5に示す。

大型ケーブルの製作にあたり、ソケットが大きくなったために、養生炉を改造した他には、特別支障は認められなかった。

なお、製作工程における温度管理は、鋳込材混合物およびソケットについては40℃に保ち、鋳込後の養生は100℃まで1.5時間かけて上昇、その後12時間程度かけて徐々に冷却した。また、鋳込み材料のソケット内への注入は、小形発振機による振動下で行った。

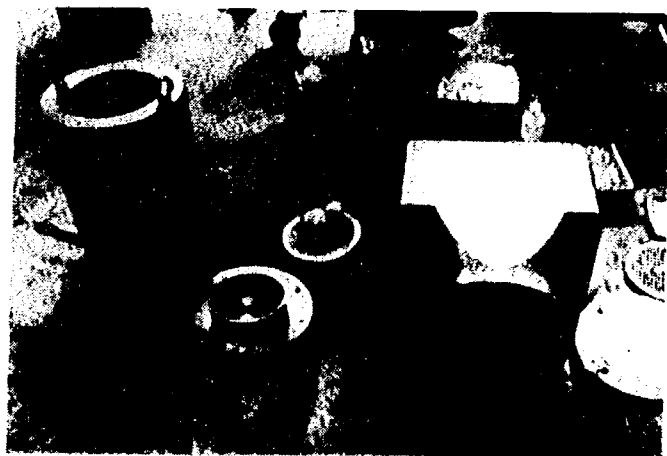


写真-1 ソケット

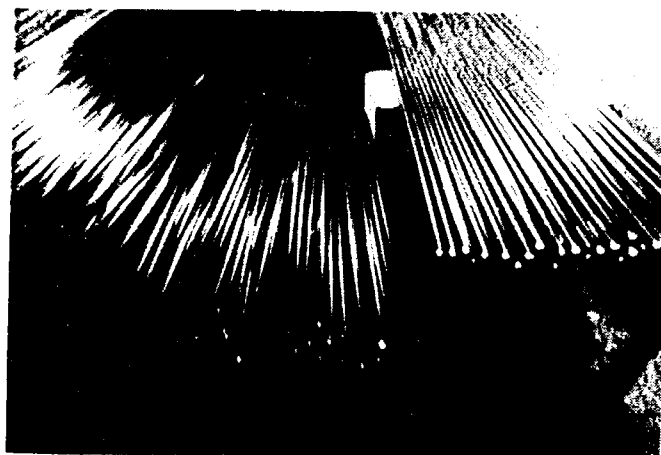
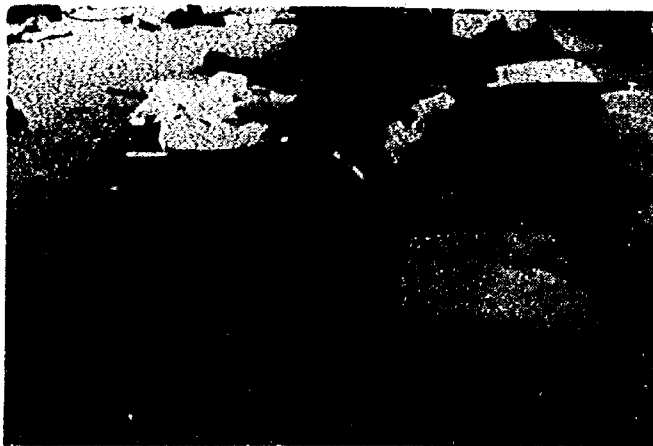
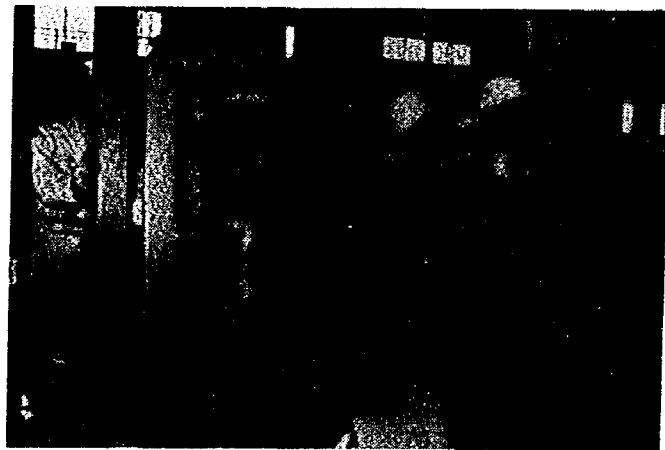


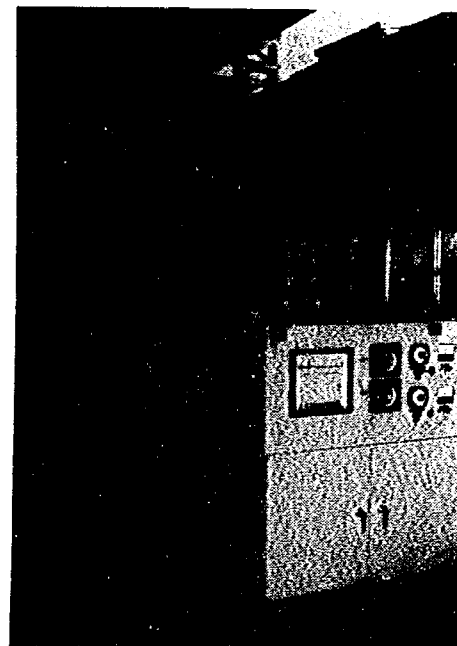
写真-2 PC鋼線のヘッドイング加工部



写真一 3 組立て



写真一 4 鋳込み



写真一 5 養生

2.3 試験方法

供試体は写真一 6 に示すように、引張型ソケットを上方にしてセットした。また、ケーブルの拔出しについては、写真一 7 に示すように、ソケット底面においてケーブルボタンヘッド加工端の変位を計測した。ひずみゲージ貼付位置および変位計設置位置については図一 5 ～ 10 を参照のこと。また、測定点の番号については、図に示した他に表一 5 に示した。

使用した試験機は、建設省土木研究所、構造物実験施設内、3000 t on大型構造部材万能試験機である。この試験機の最大容量は、引張試験において1,000 t onである。

本試験では図一 11 に示す荷重ステップに対し、ひずみおよび抜け出し量の計測を行った。

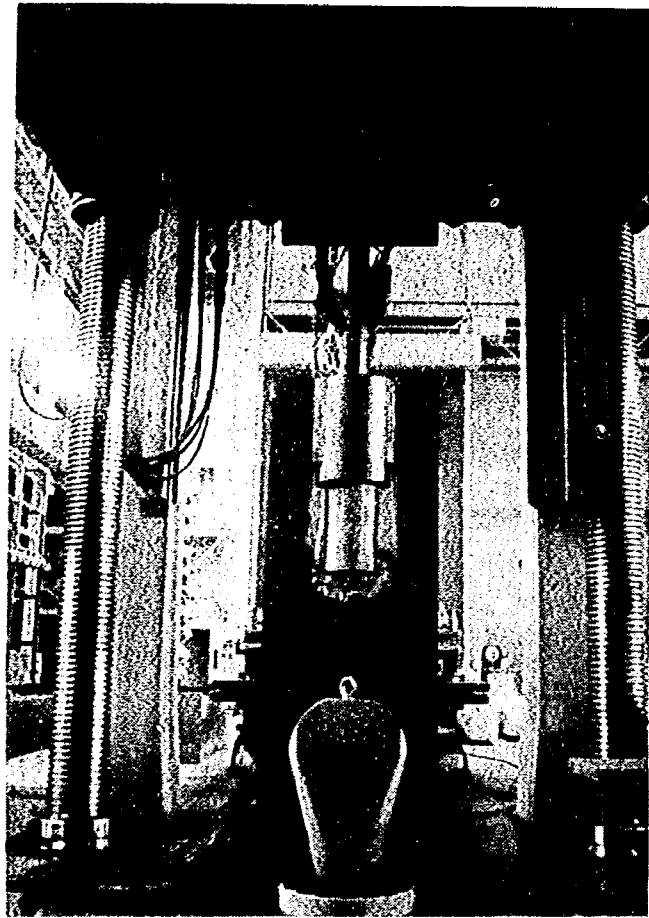


写真-6
試験機へのセ ット

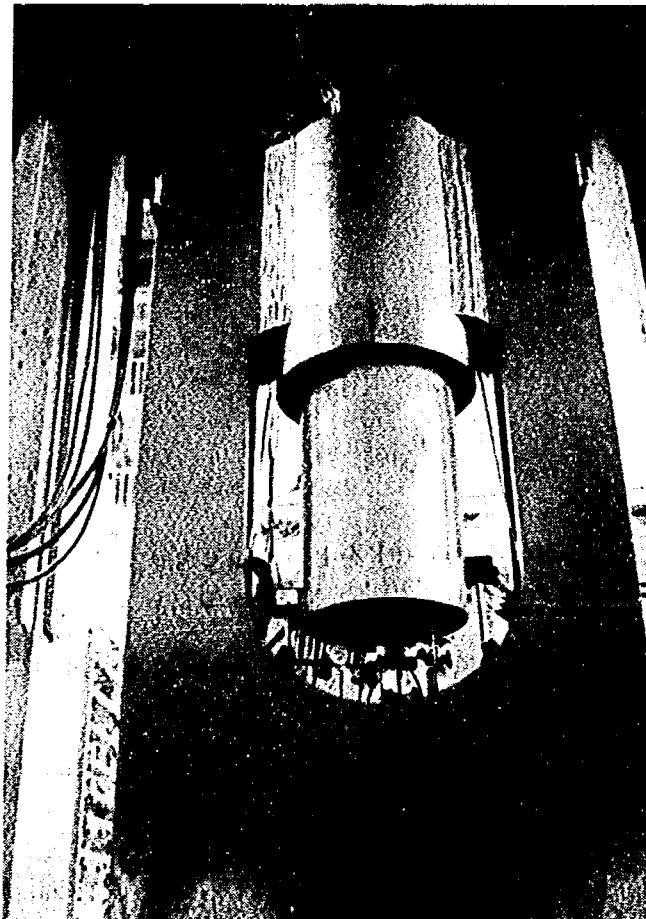


写真-7
変位計のとりつけ

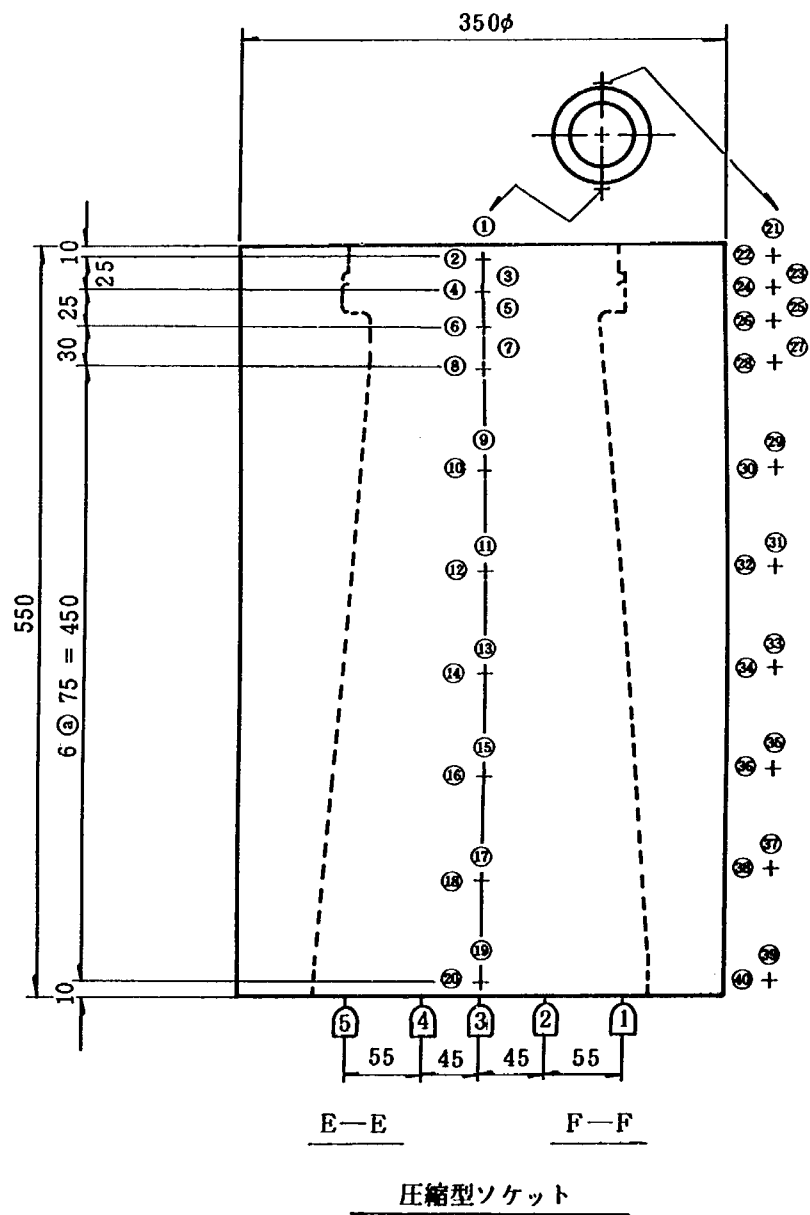
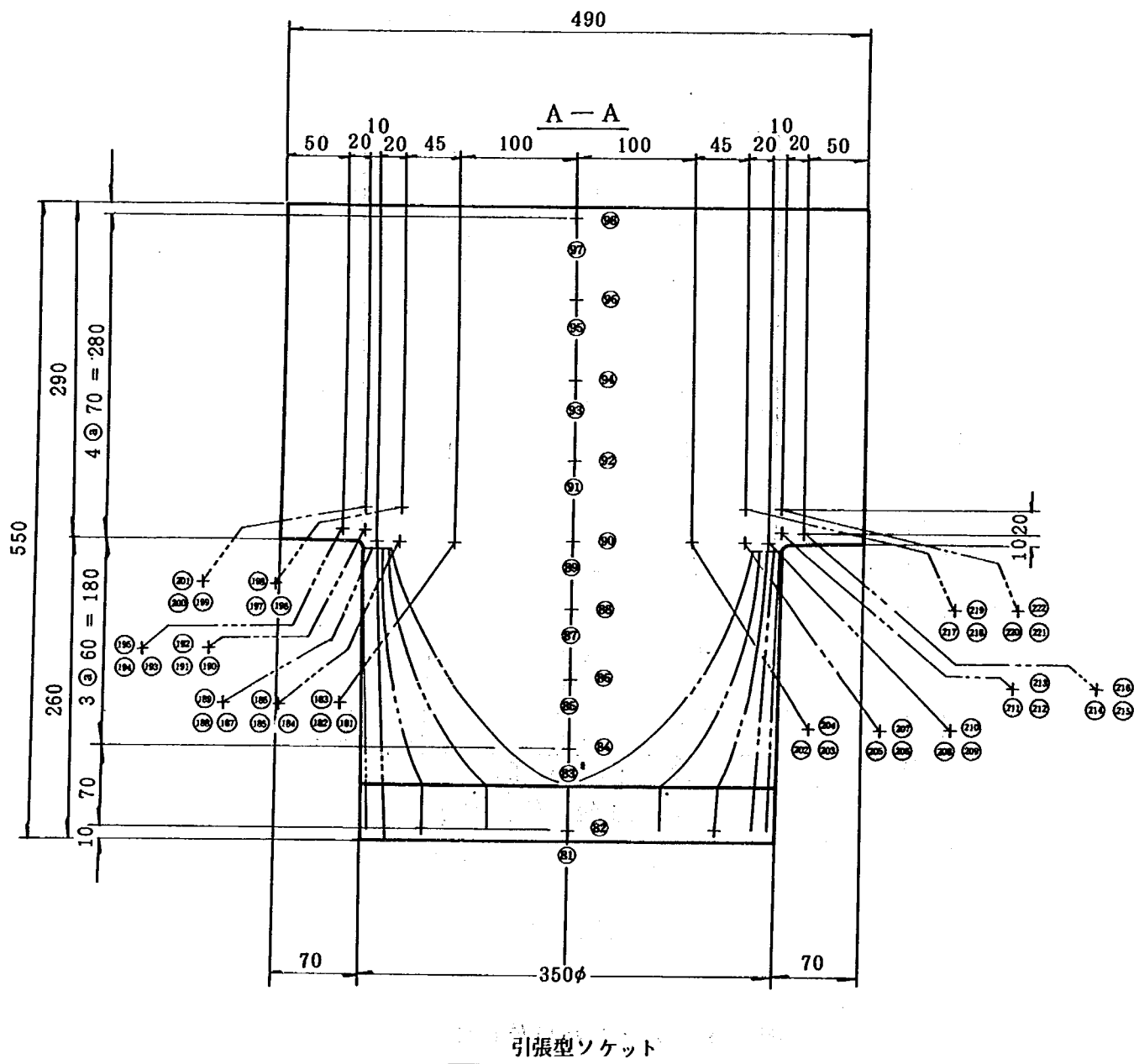


図-5 ゲージ貼付位置(1)



図一 6 ゲージ貼付位置(2)

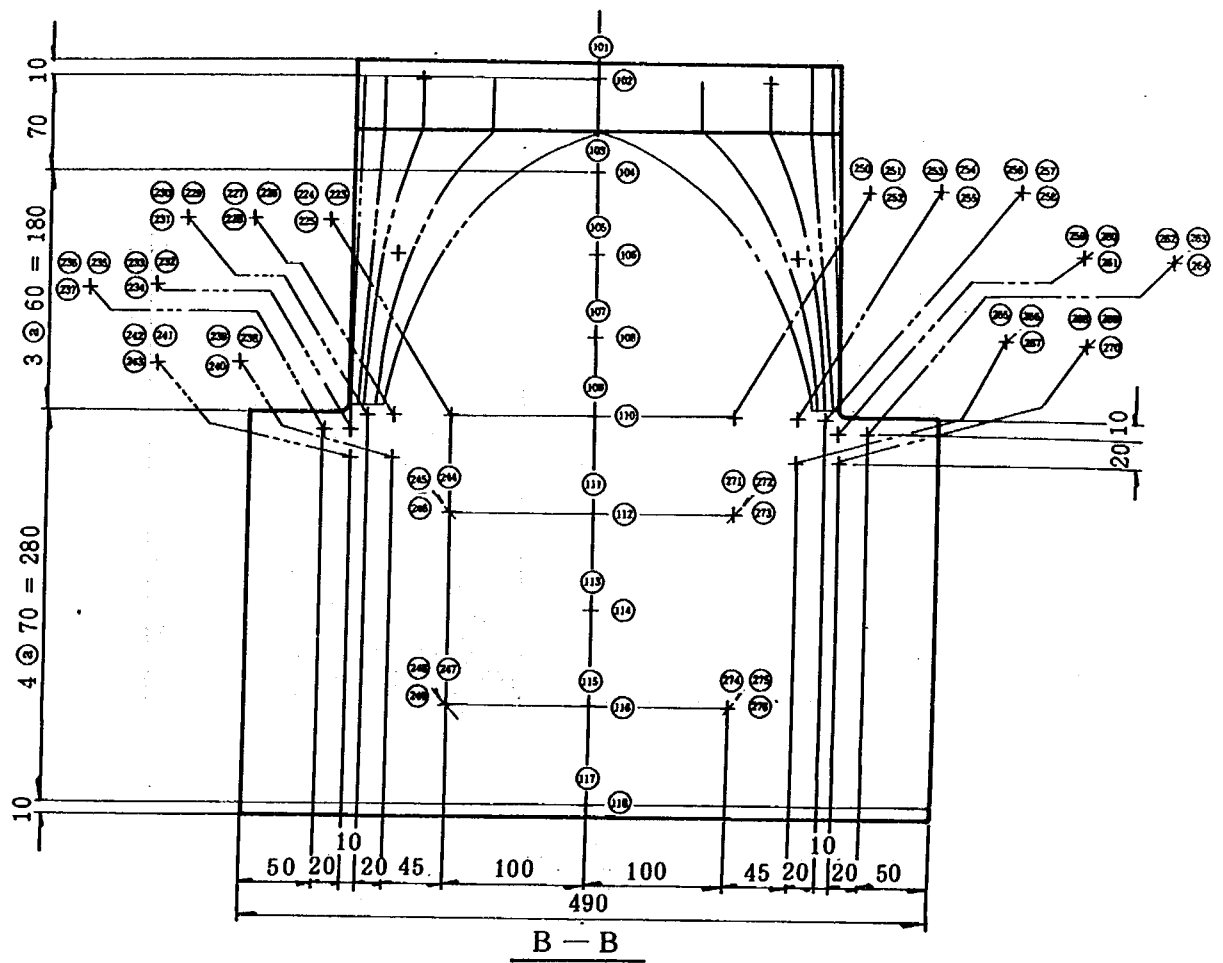


図-7 ゲージ貼付位置(3)

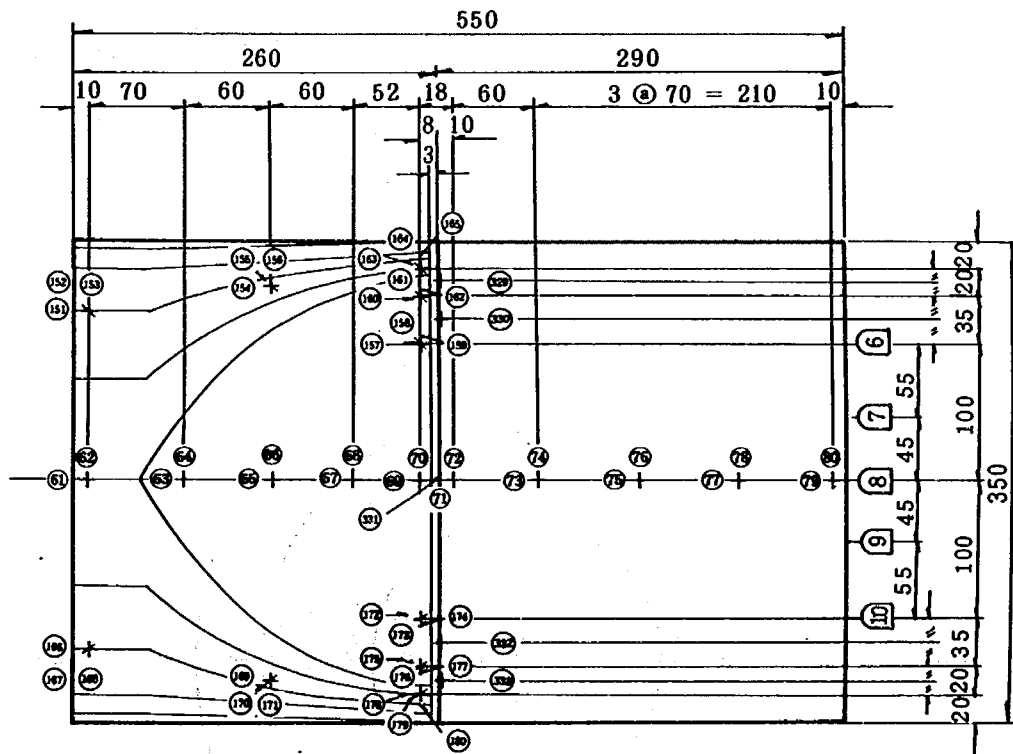


図-9 ゲージ貼付位置(5)

表-5 ひずみゲージ番号および変位計番号

出力番号 ※1	ゲージ番号 ※2	ゲージ名称	貼付位置	貼付断面
1-20	同 左	2軸ひずみゲージ	圧縮型ソケット	E-E
21-40	"	"	"	F-F
41-60	同 左	2軸ひずみゲージ	引張型ソケット	C-C
61-80	"	"	"	D-D
81-98	"	"	"	A-A
101-118	"	"	"	B-B
121-150	"	3軸ひずみゲージ	"	C-C
151-180	"	"	"	D-D
181-222	"	"	"	A-A
223-276	"	"	"	B-B
281-303	同 左	3軸ひずみゲージ	シムプレート	—
304-323	"	1軸ひずみゲージ	"	—
324-328	同 左	1軸ひずみゲージ	引張型ソケット	C-C
329-333	"	"	"	D-D
334-338	1~5	ひずみ変位計	圧縮型ソケット	—
339-341	6~8	"	引張型ソケット	—
343-344	9~10	"	"	—

※1 出力番号：生データとして出力した際のプリント番号（スイッチボックス番号）

※2 ゲージ番号：主応力および変位量計算時の位置分類番号

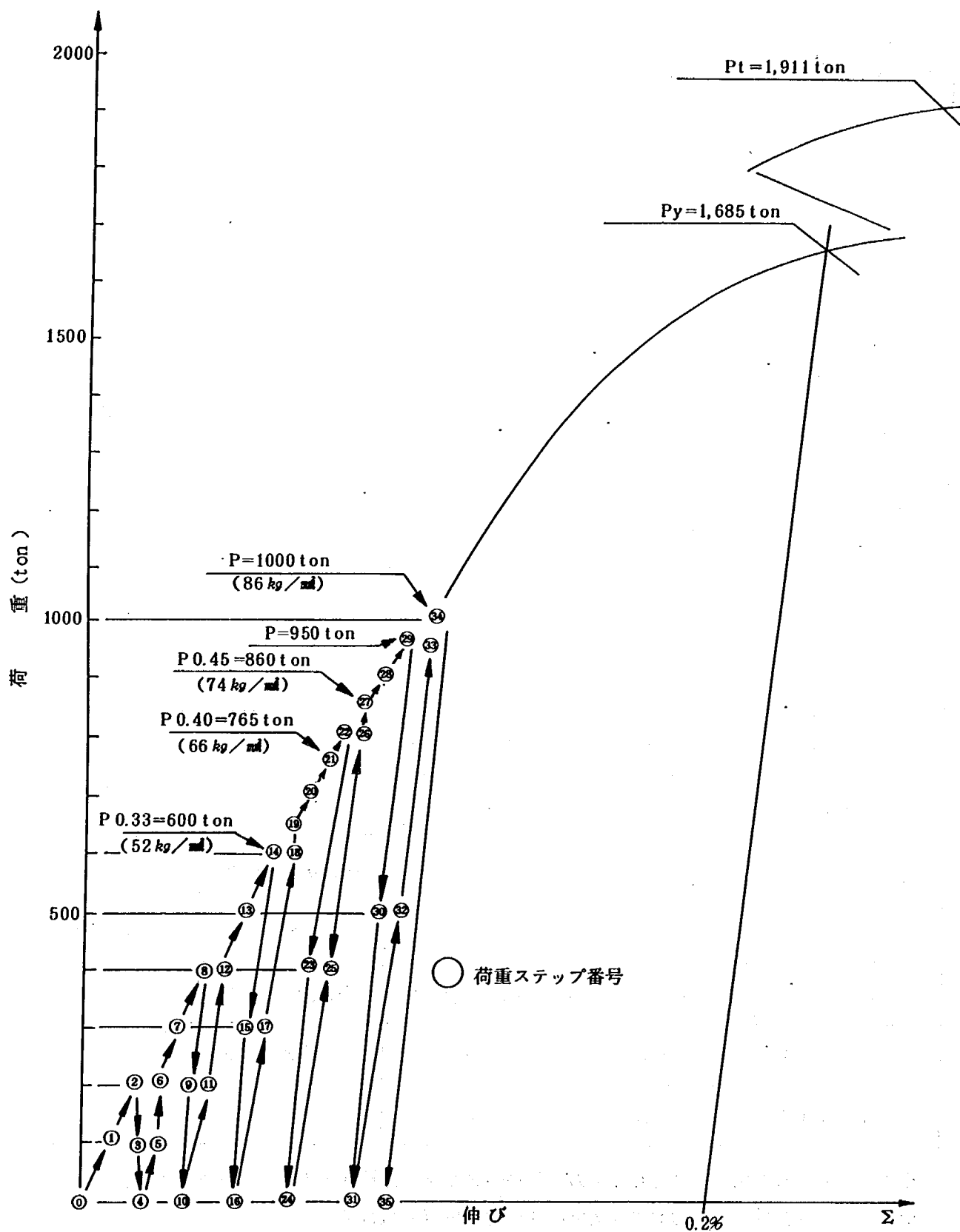


図-11 測定荷重ステップ

2.4 試験結果

2.4.1 拔出量

図-12は ケーブルのソケットからの相対的な拔出量と荷重の関係を示したものである。圧縮型ソケットと引張型ソケットを比較すると、前者の方がやや大きな拔出量を示している。この理由としては、前者ではソケット軸方向応力が圧縮となり、その変形に伴ってポワソン効果によりソケット半径が大きくなるような円周方向変形を生じることが考えられる。両ソケットにおける拔出量の差は設計荷重 ($P=600$ ton) 以下で顕著であり、それ以上の荷重では小さくなる傾向がある。

いずれにしても、拔出量は設計荷重で $1.1 \sim 1.7$ mm、その $5/3$ 倍の 1000 ton においてもたかだか $2.2 \sim 2.5$ mm と、過去の実験例などと同様非常に小さい値となっている。

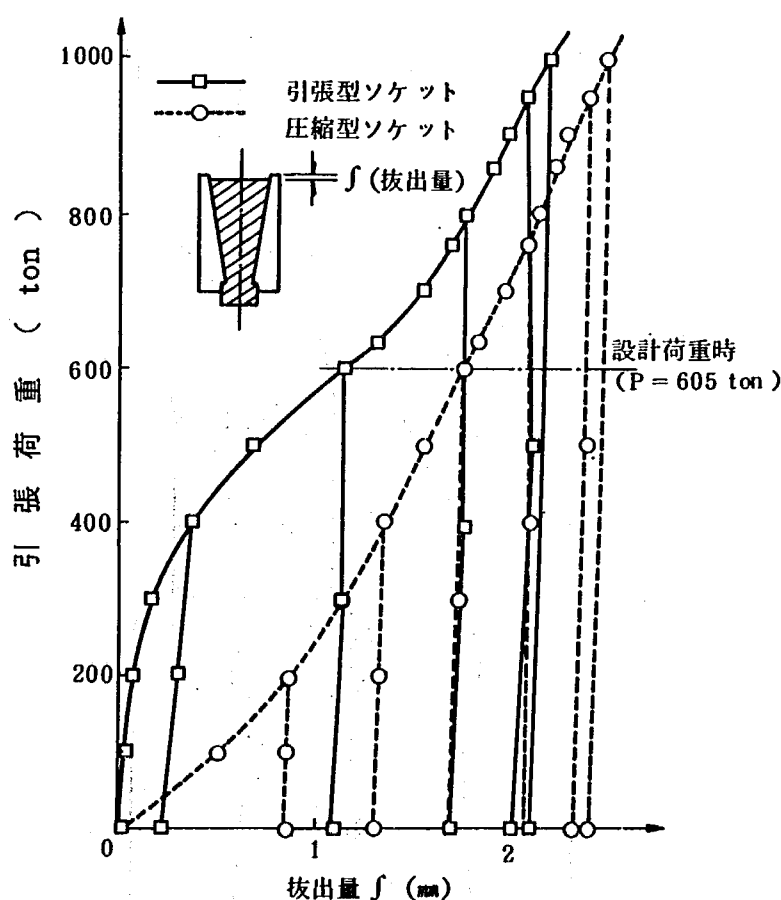
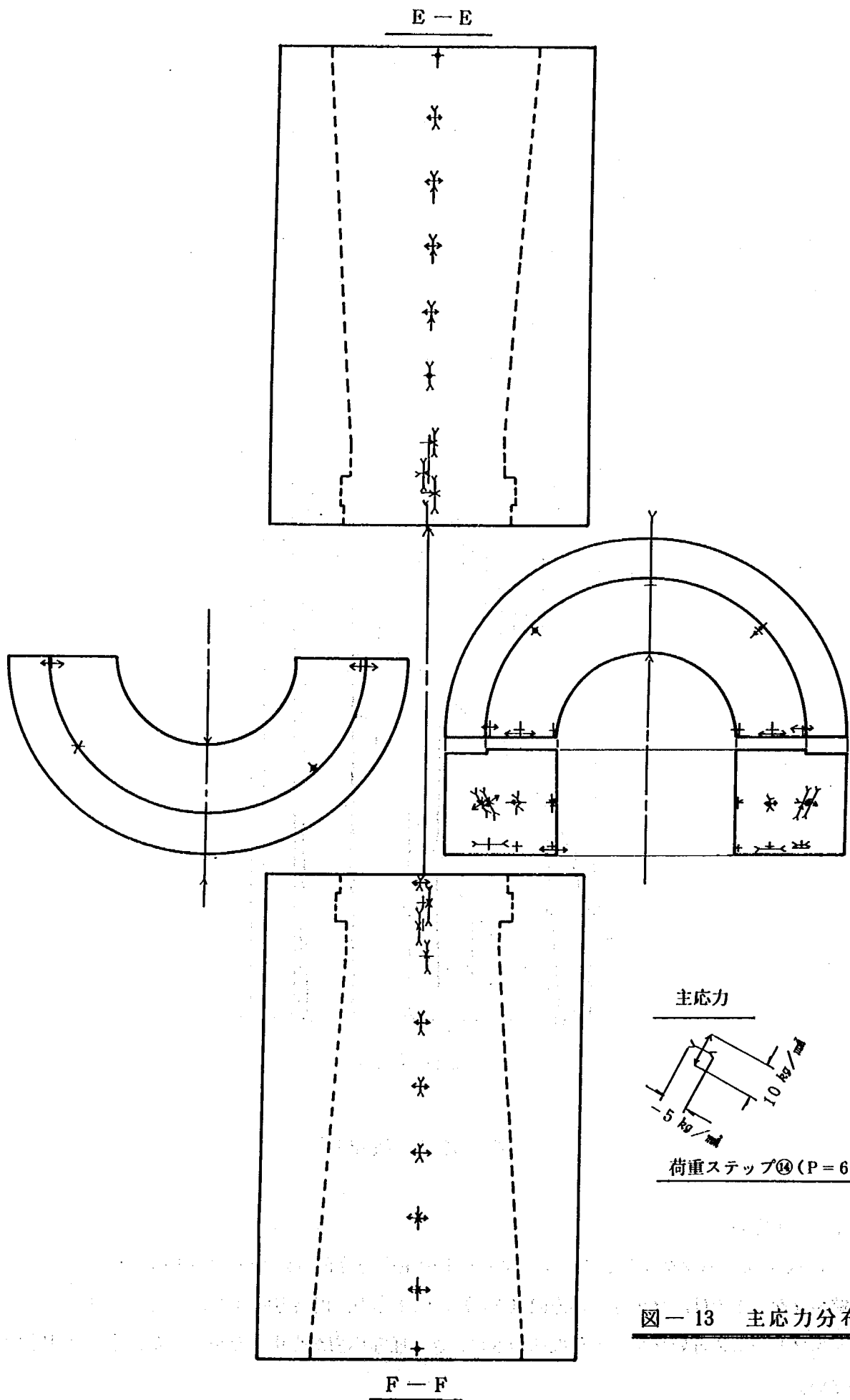


図-12 拔出量

2.4.2 主応力

$P=600$ におけるソケットおよびシムプレートの主応力分布図を図-13~14に示す。

圧縮型ソケットでは、ソケット軸方向 (δy) に圧縮応力、円周方向 (δx) に引張応力が発生した。また、シムプレートに近いソケット前面部のみに大きな圧縮応力が発生したが、この部分での円周方向応力は小さい。



図—13 主応力分布

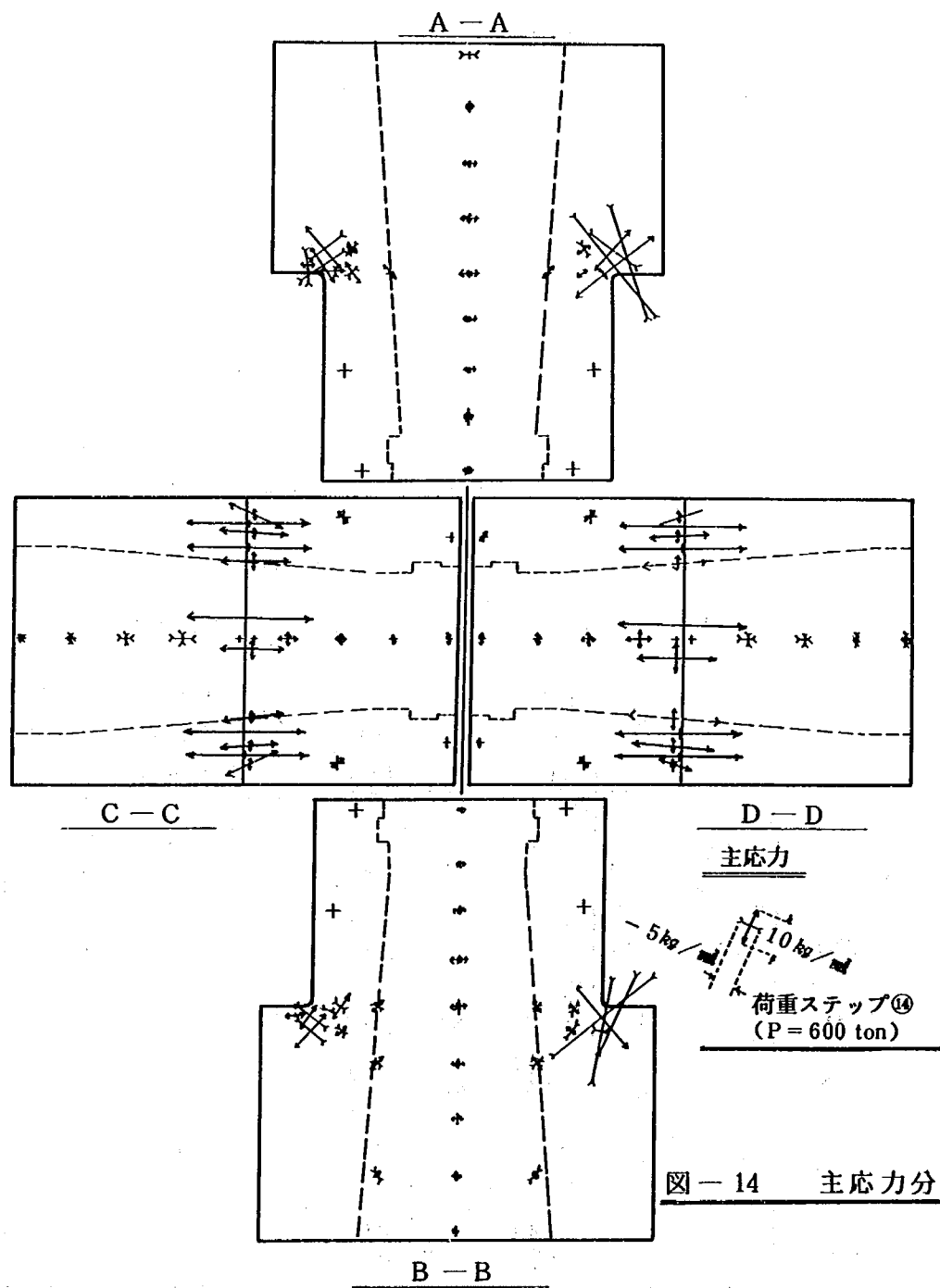


図 - 14 主応力分布

引張型ソケットでは、C-C、D-D断面でソケット軸方向（ δy ）および円周方向（ δx ）に、荷重を支持する隅角部を境に圧縮応力と引張応力が生じている。また、A-A、B-B断面では、円周方向は引張応力、軸方向は、隅角部を境に、C-C、D-D断面とは逆に引張応力と圧縮応力が生じている。また隅角部には応力集中がみられるが、その方向はほぼ45°である。

また、シムプレートにおける主応力方向の傾きは、ソケット支圧部から定着体への応力の流れを示している。

2.4.3 応力集中

それぞれのソケットにおいて、もっとも大きな応力が作用する部分について応力集中係数を求めると表-6のようになる。

表-6 応力集中係数K

引 張 荷 重 P		2 0 0 ton		4 0 0 ton		6 0 0 ton		8 0 0 ton		1 0 0 0 ton	
鋼線応力 σ_{wire}		1 7.2 kg/mm ²		3 4.5 kg/mm ²		5 1.8 kg/mm ²		6 9.1 kg/mm ²		8 6 kg/mm ²	
ソケット 名 称	ゲージ番号 GN ※1	$\sigma_{\text{実}}/\sigma_{\text{計}}$ kg/mm ²	K	$\sigma_{\text{実}}/\sigma_{\text{計}}$ kg/mm ²	K	$\sigma_{\text{実}}/\sigma_{\text{計}}$ kg/mm ²	K	$\sigma_{\text{実}}/\sigma_{\text{計}}$ kg/mm ²	K	$\sigma_{\text{実}}/\sigma_{\text{計}}$ kg/mm ²	K
圧 縮 型	③	-120/ -312	0.38	-374/ -623	0.60	-827/ -935	0.88	-1518/ -1247	1.22	-2395/ -1555	1.54
	②3	-318/ "	1.02	-511/ "	0.82	-883/ "	0.94	-1550/ "	1.24	-2542/ "	1.63
引 張 型	①42	453/ 222	2.04	1083/ 445	2.43	1713/ 667	2.57	2264/ 889	2.55	2768/ 1109	2.50
	①72	855/ "	3.85	1699/ "	3.82	2542/ "	3.81	3300/ "	3.71	3978/ "	3.59
	②11	227/ "	1.02	1765/ "	3.97	2937/ "	4.40	降伏/ "	—	降伏/ "	—
	②32	086/ "	0.39	282/ "	0.63	842/ "	1.26	1583/ "	1.78	2322/ "	2.09
	③25	2995/ "	13.49	降伏/ "	—	降伏/ "	—	降伏/ "	—	降伏/ "	—
	③31	1159/ "	5.22	2449/ "	5.50	降伏/ "	—	降伏/ "	—	降伏/ "	—

※1 GN：ひずみゲージ番号

※2 K：応力集中係数 $K = \sigma_{\text{実験値}} / \sigma_{\text{計算値}}$

$\sigma_{\text{計算値}} = P \text{ (引張荷重)} / A_s \text{ (ソケット断面積)}$

A_s ：圧縮型ソケット $\pi / 4 (350^2 - 202^2) = 64164 \text{ mm}^2$

：引張型ソケット $350^2 - \pi / 4 (195.7)^2 - 35^2 \times 4 = 89970 \text{ mm}^2$

設計荷重（600ton）の範囲で見ると、両ソケットとも設計上問題となるような大きな応力集中は

見られないが、引張側ソケットの隅角部周辺ではかなり大きな応力集中が見られる。ゲージNo 325 および 331 は、隅角部曲面にひずみゲージを貼付して計測したもので、200 ton においてそれぞれ 13.5 および 5.2 と大きな値となっており、この部分については疲労に対する検討も行っておく必要があると考えられる。

表-7 は、設計荷重 (600 ton) から、ケーブルの応力にして 10kg/mm^2 荷重を除いた場合 (484 ton) の各部のひずみおよび応力の変動幅を示している。これによれば、最も大きな応力変動巾が、ほぼケーブル素線の応力巾に一値している。疲労強度は、よく知られているようにその応力の高さよりも変動巾に支配されるので、隅角部の疲労強度がケーブルに較べて極端に低くなることはないものと思われる。

表-7 ソケットの変動応力

引 張 荷 重 P		600 ton	0 ton	484 ton	($\Delta P = 116\text{ ton}$)
鋼線応力 σ_{wire}		51.8kg/mm^2	0kg/mm^2	41.8kg/mm^2	($\Delta \sigma_{\text{wire}} = 10\text{kg/mm}^2$)
ソケット 名 称	ゲージ番号 GN ※1	ひずみ ϵ_{600} μ	ひずみ ϵ_0 μ	ひずみ ϵ_{484} μ ※2	ひずみ変化 $\Delta \epsilon = \epsilon_{600} - \epsilon_{484}$ $\mu(\text{kg/mm}^2)$ ※3
圧 縮 型	③	- 420	- 51	- 349	71 (1.50)
	②3	- 393	- 38	- 324	69 (1.44)
引 張 型	①42	816	75	673	143 (3.00)
	①72	1210	222	1019	191 (4.01)
	②11	1399	1157	1352	47 (0.99)
	②32	401	268	375	26 (0.55)
	③25	3890	1301	3390	500 (10.51)
	③31	1843	147	1515	328 (6.88)

※1 GN : ひずみゲージ番号 (2.7 添付資料 (vi) 参照)

※2 ϵ_{484} : $P = 484\text{ ton}$ でのひずみを実験値 ϵ_{600} , ϵ_0 より算出した。

※3 $\Delta \epsilon$: 鋼線応力が、 $\Delta \sigma_{\text{wire}} = 10\text{kg/mm}^2$ 変動した際のソケットのひずみ変化で、
() 内数値は、応力に換算した値である。

図-15 は、前出ゲージNo 325 および 331 のひずみの変化を示したものであるが、設計荷重 600 ton から除荷した場合、塑性ひずみの繰返しは 0 ではないが大きなものではない。

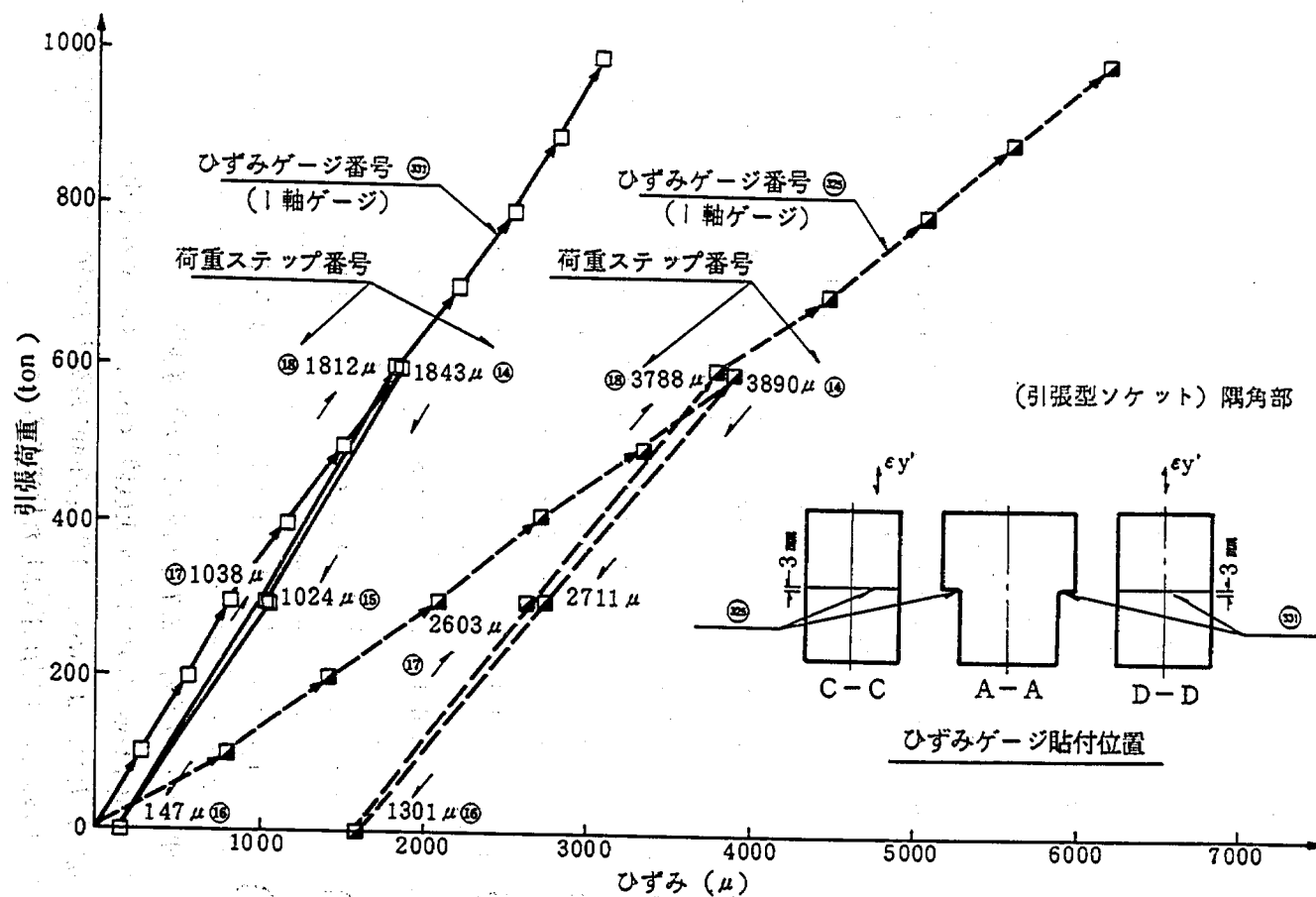


図-15 ソケットのひずみ変化

2.5 まとめ

- (1) ケーブル径が大きくなったことで、養生用の炉の改造が必要だった他、製作上とくに不都合は生じなかった。
- (2) 拔出量は、圧縮型ソケットの場合の方がやや大きいですが、その値は許容荷重でたかだか 1.1 ~ 1.7 mm と小さい。
- (3) 引張型ソケット隅角部には、10 倍を超える大きな応力集中が存在し、許容荷重以下ですでに降伏点を超えるが、除荷、再負荷した場合の応力振巾はケーブルのそれにほぼ匹敵する程度であり、塑性ひずみの繰返しはほとんど見られない。

3. 疲労試験

3.1. 諸 言

HiAm アンカーケーブルの特徴は、その名が示す通り疲労強度が高いことであり、疲労試験についても過去において数多く行われている。本試験では、(1) 過去の試験データの信頼性を再確認する、(2) セメントグラウトに生じるクラックが疲労強度におよぼす影響の有無について確認する、の2点を目的として、小型供試体による疲労試験を行った。

3.2 供試体

供試体は2種類各3体計6体である。いずれも素線数19本の HiAmアンカーケーブルであり、一方は素線を裸のまま使用し、もう一方は、ポリエチレン (PE) 管をとりつけ、試験機に取付けた状態でグラウト注入、固化したものである。供試体寸法形状を図-16に示す。また、供試体の荷重に関する規格値を表-8に、グラウト材の配合について表-9に示した。

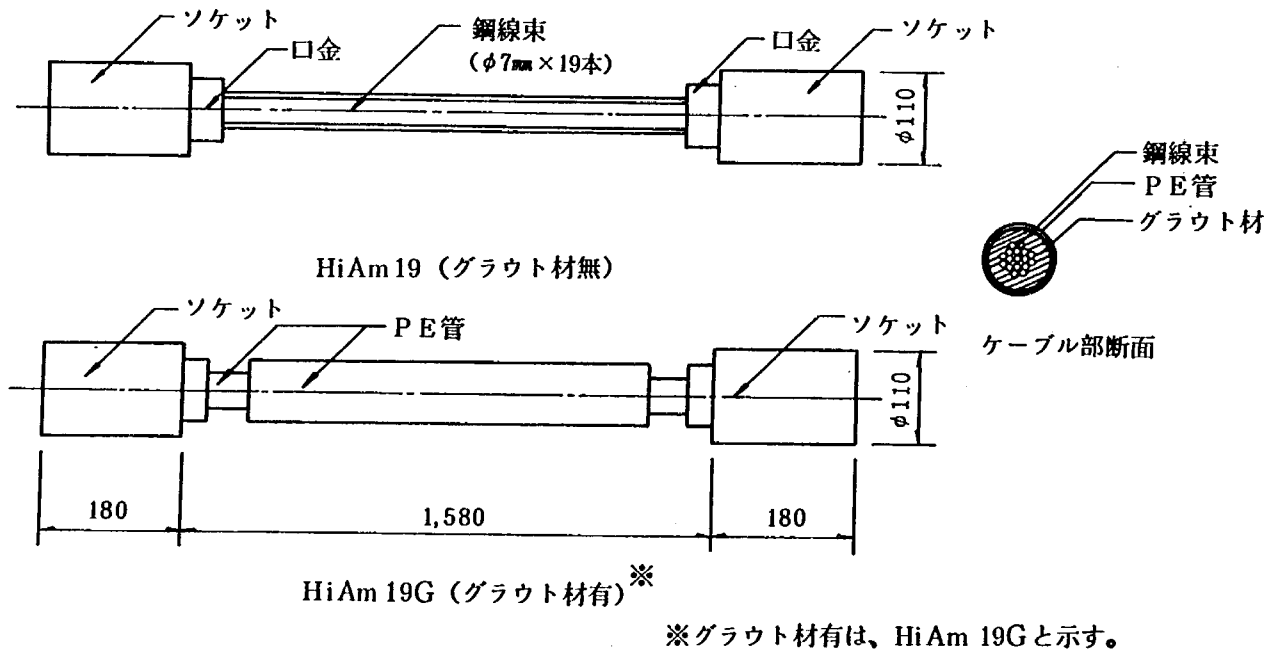


図-16 疲労供試体

表-8 供試体 (HiAm 19)

	断面積 A_s mm^2	引張荷重 P_u $t (\text{kg}/\text{mm}^2)$	降伏荷重 P_y $t (\text{kg}/\text{mm}^2)$	$1/2.5 P_u$ $t (\text{kg}/\text{mm}^2)$
規格※	標準断面積 731	以上 120 (165)	以上 106 (145)	48 (66)

※ 単線規格値よりの参考値

表-9 グラウト材

水セメント比 W/C (%)	混和剤/ セメント比 C _x /c (%)	セメント C (kg)	水 W (kg)	混和剤 (コンベックス208) C _x (kg)
45	1.2	40	18	0.48

素線等使用材料については静的引張試験の供試体と同様である。

3.3 試験方法

試験条件を表-10に示す。ここでは HiAm アンカーケーブルの疲労強度の限界値を知ることが第一とし、上限荷重を道路橋示方書に規定された許容値よりも高く、本四公団の基準（安全率2.5）の最大値に設定し、下限荷重を変化させることにより、ケーブルの応力巾を 30, 35, 40 kg/mm²として試験を行った。

表-10 試験条件

名 称	上限荷重※1 t (kg/mm ²)	下限荷重 t (kg/mm ²)	変動荷重幅 t (kg/mm ²)	供 試 体 数	
				グラウト無	グラウト有※2
HiAm 19	48 (66)	26.3 (36)	21.7 (30)	1	1
		22.7 (31)	25.3 (35)	〃	〃
		19.0 (26)	29.0 (40)	〃	〃

※1 上限荷重 : $1 / 2.5 P_u = 48 \text{ t (66 kg/mm}^2\text{)}$

※2 グラウト注入時応力：下限応力 + 5 kg/mm²

※3 繰返速度 : 4.2 HZ

グラウト材有の供試体については、あらかじめ所定荷重を負荷させた状態でグラウト材を注入し、グラウト材圧縮強度が 200 kg/cm²となった時点で試験を開始した。

供試体鋼線の断線検出には、加速度計およびロードセルを用い、断線時の急激な荷重低下をレコーダーに自記させ、1本目～4本目の断線時繰返し数を算出した。

なお、グラウト材有の供試体については、試験後グラウト材のヘアークラック位置を記録し、鋼線の疲労断線位置との関連性を調べた。また、ヘアークラック巾は、グラウト注入時の荷重から、ケーブル応力で 15 kg/mm² 上げた状態で測定した。

3.4 試験結果

3.4.1 疲労強度

図-17に、応力変動巾 $\Delta\sigma$ と繰返し回数の関係をプロットした。試験は1本目から4本目の断線までを記録したが、 $\Delta\sigma = 40 \text{ kg/mm}^2$ では20~40万回で4本目まで順次破断した。 $\Delta\sigma = 35 \text{ kg/mm}^2$ では80~100万回で初断線を生じ、順次断線したものと、その後の断線はなく、200万回まで耐えたものがあった。また、 $\Delta 30 \text{ kg/mm}^2$ では、断線はみられなかった。

また、グラウト材の有無による強度の差はほとんど見られず、むしろ、グラウト材有りの方が強度がわずかに高くなっている。

3.4.2 グラウト材のクラック

試験中に生じたグラウト材のクラックは、図-18に示すように5~10 cm 間隔に生じた。クラック幅は、0.05 mm とすべてヘアークラック程度である。

3.4.3 鋼線の破断位置

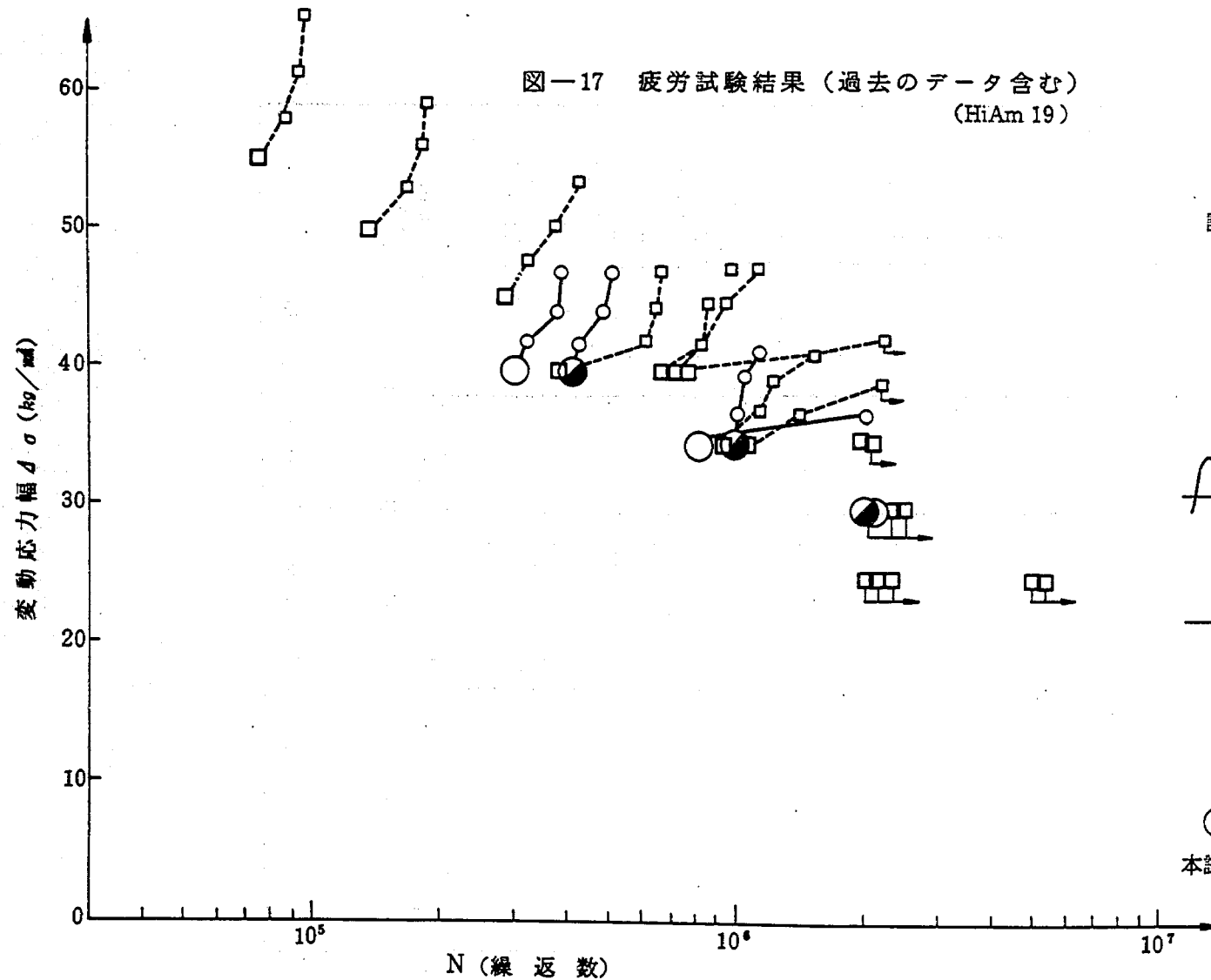
疲労試験後、残った鋼線について引張試験を行い、鋼線の破断位置を調べた。結果を図-19および20に示す。

グラウト材のない供試体では、破断位置は静的、疲労ともほぼランダムに散らばっている。グラウト材の有る供試体では、破断位置がややかたよる傾向があるものの、必ずしもグラウトのクラック位置とは一致しておらず、疲労破断回数も低下していないことなどから、少なくともグラウトにより悪い影響は受けていないといえることができる。

3.4.4 拔出量および残留率

ソケットコーン部の拔出量は、上限荷重 48 ton において 0.14~0.65 mm と小さく、また、疲労試験後の引張試験における残留率は、105~106%であった(表-11)。

図-17 疲労試験結果（過去のデータ含む）
(HiAm 19)



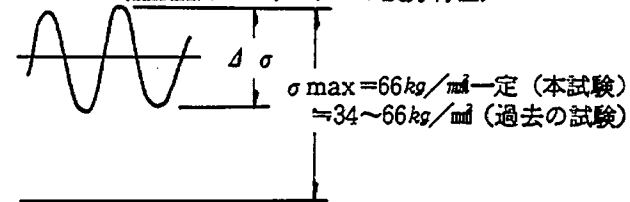
記号

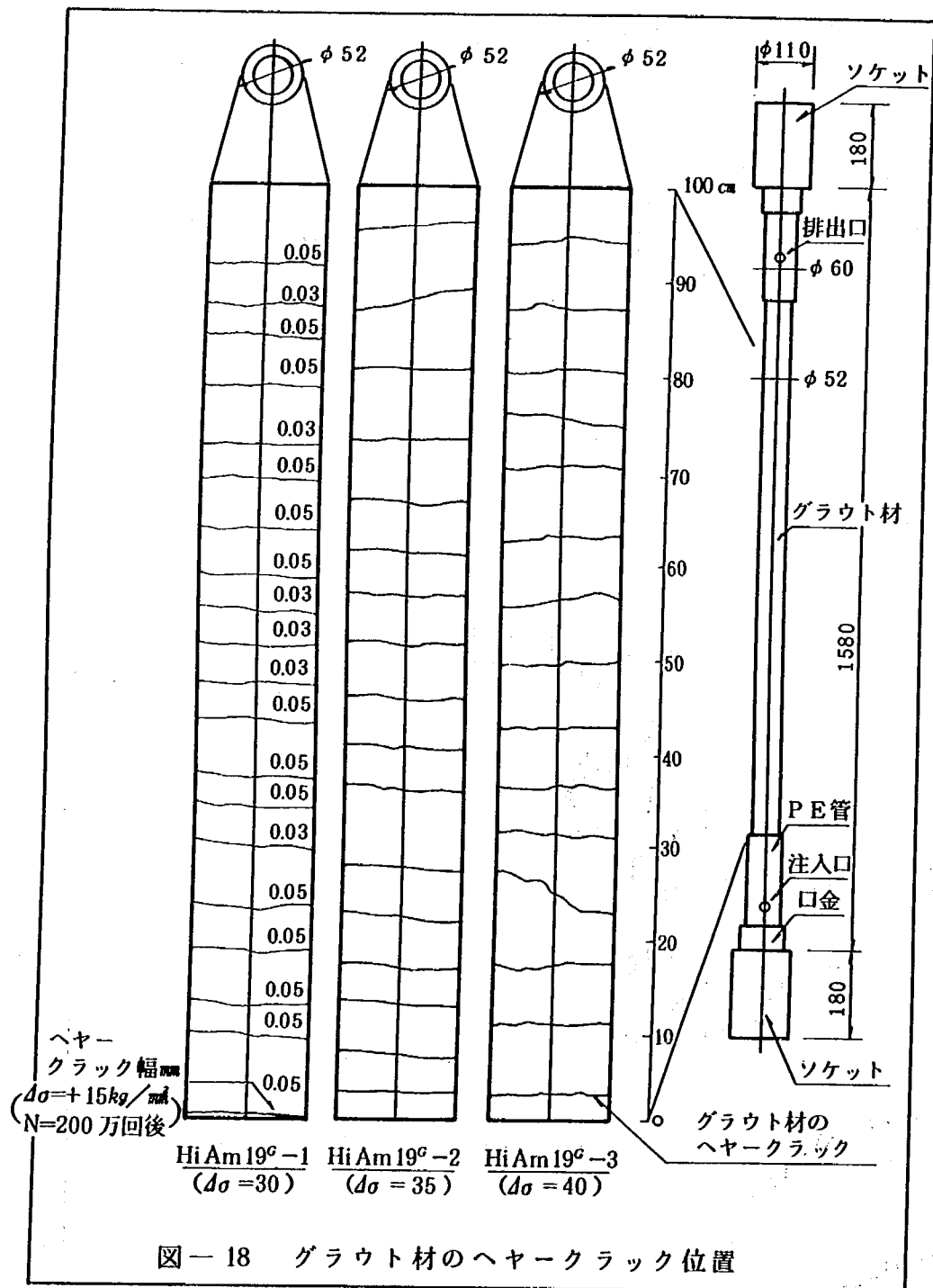
○ : 本試験結果 (グラウト材無)

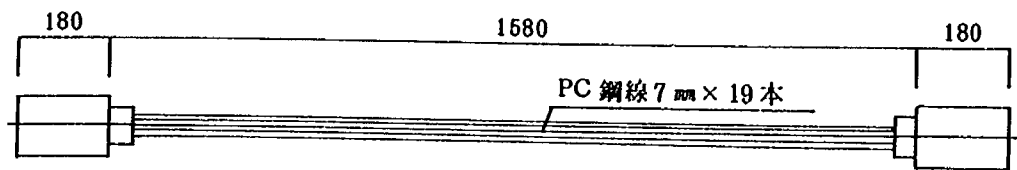
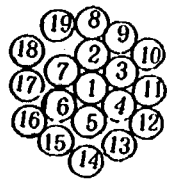
● : " (グラウト材有)

□ : 過去の試験結果 (グラウト材無)

※ 土木学会 34 回年次学術講演概要集 I - 56
(HiAm アンカケーブルの疲労特性)



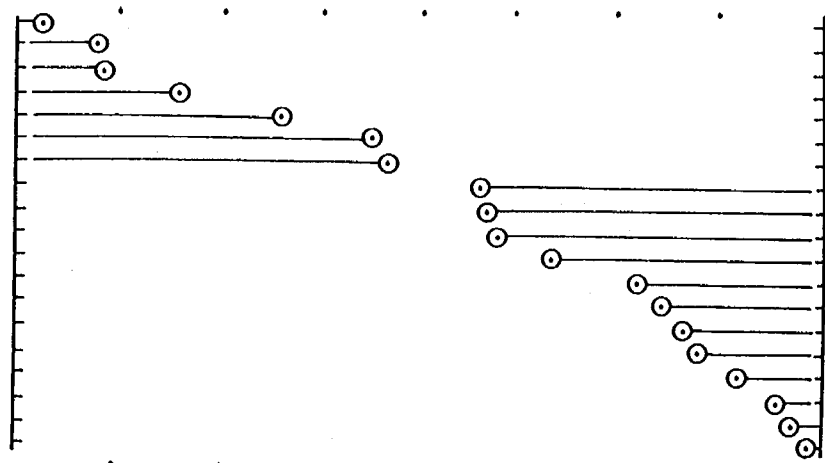




○： 静的断線
●： 疲労断線

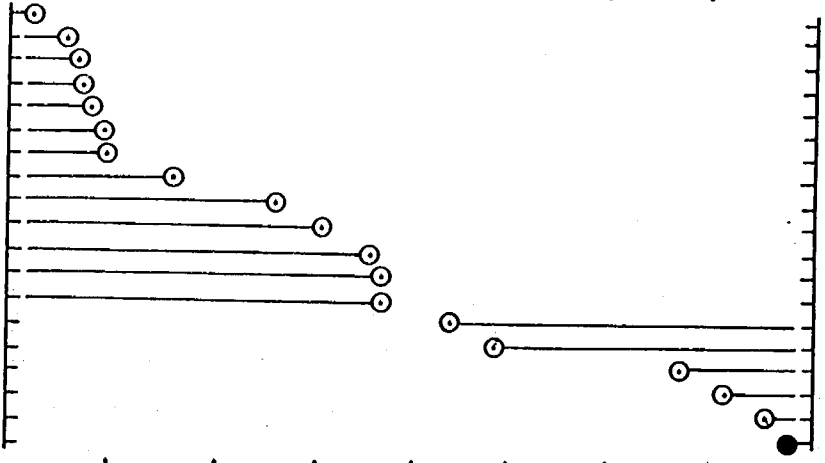
鋼線Na

供試体
Na
HiAm 19-1
 $\sigma_{max} = 66 \text{ kg/mm}^2$
 $\sigma_{min} = 36 \text{ ''}$
 $\Delta\sigma = 30 \text{ ''}$



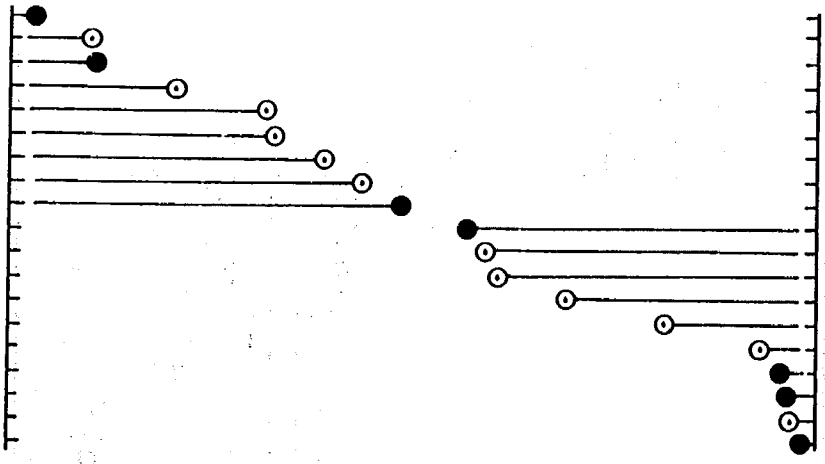
鋼線 Na	断線位置 mm
12	45
18	140
1	147
2	292
17	495
5	670
13	730
19	670
8	665
4	630
10	555
3	385
6	335
11	280
14	245
9	180
7	105
15	85
16	30

供試体
Na
HiAm 19-2
 $\sigma_{max} = 66 \text{ kg/mm}^2$
 $\sigma_{min} = 31 \text{ ''}$
 $\Delta\sigma = 35 \text{ ''}$



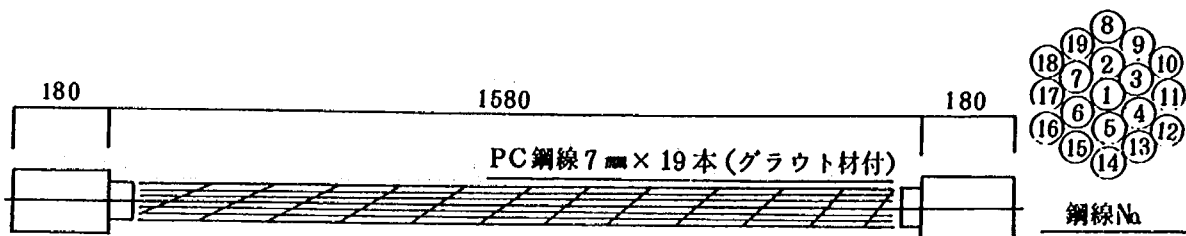
6	55
17	110
12	138
1	152
3	157
7	181
2	186
8	320
5	556
14	600
11	686
15	690
19	690
9	654
18	625
10	255
13	163
4	85
16	45

供試体
Na
HiAm 19-3
 $\sigma_{max} = 66 \text{ kg/mm}^2$
 $\sigma_{min} = 26 \text{ ''}$
 $\Delta\sigma = 40 \text{ ''}$



8	30
1	147
10	160
13	310
18	475
4	493
14	595
5	662
3	785
9	740
7	673
2	668
19	510
16	312
12	91
15	55
6	40
11	40
19	10

図一 19 鋼線の断線位置



○：静的断線

●：疲労断線

---: グラウト材のヘアークラック

供試体
No
HiAm 19G-1

$\sigma_{max} = 66 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_{min} = 36 \text{ "}$

$\Delta\sigma = 30 \text{ "}$

供試体
No
HiAm 19G-2

$\sigma_{max} = 66 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_{min} = 31 \text{ "}$

$\Delta\sigma = 35 \text{ "}$

供試体
No
HiAm 19G-2

$\sigma_{max} = 66 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_{min} = 26 \text{ "}$

$\Delta\sigma = 40 \text{ "}$

鋼線 No	断線位置 mm
14	285
5	395
6	400
8	670
15	685
11	730
3	745
9	755
2	770
13	740
10	650
19	610
7	600
1	540
18	400
4	380
12	290
16	280
17	220

10	5
18	5
8	10
11	15
19	20
9	30
3	200
12	260
16	340
1	490
13	695
6	760
7	760
17	650
14	458
5	360
4	315
2	170
15	140

9	40
19	50
11	272
2	300
13	390
16	700
7	670
17	640
1	640
6	625
3	620
4	605
5	595
15	430
14	310
18	300
8	155
10	150
12	140

図-20 鋼線の断線位置 (グラウト材のヘアークラック位置含)

表-11 拔出量および残留率

供試体	変動応力幅 kg/mm ²	拔出量 δ_{48} ※1 mm	残留荷重※2 t	残留率※3 %
Hi Am 19-1	30	0.28	128.0	1.06
" 19-2	35	0.26	—	—
" 19-3	40	0.65	—	—
" 19G-1	30	0.37	126.0	1.05
" 19G-2	35	0.52	—	—
" 19G-3	40	0.14	—	—

※1 拔出量 δ_{48} : $P_{max} = 48 \text{ ton}$ 時の拔出量

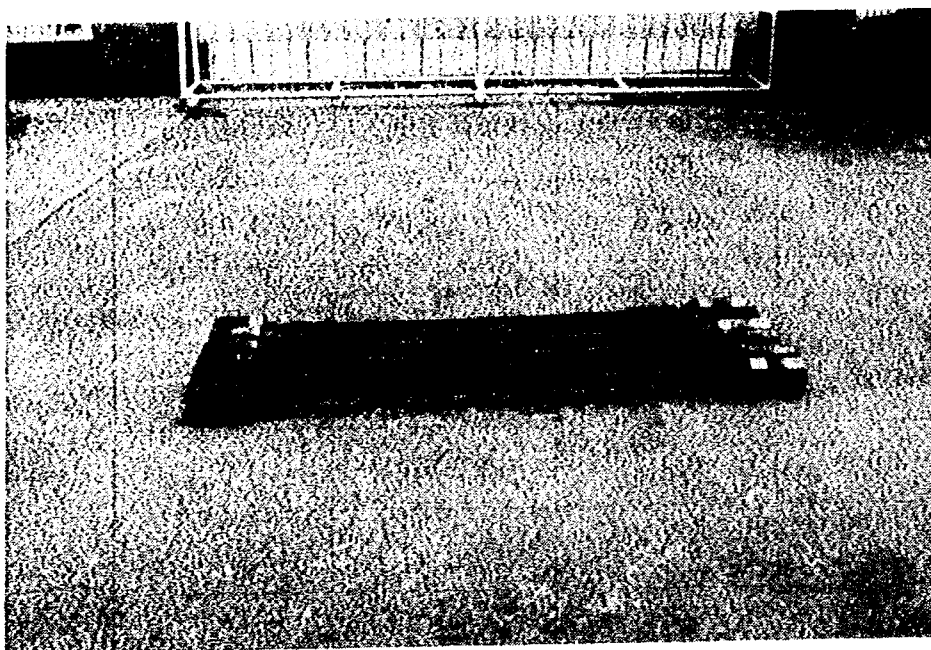
2 残留荷重 : 疲労試験後の引張試験における引張荷重

3 残留率 : $= \text{残留荷重} / 120 \text{ ton}$ (表 3.2.3 の規格値)

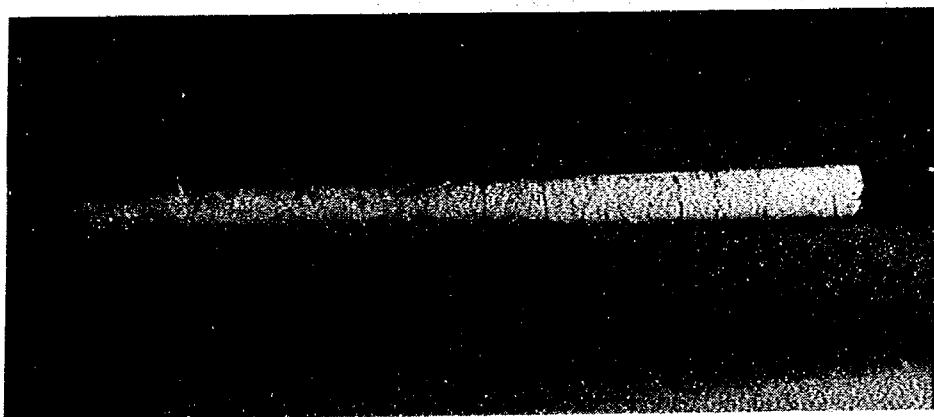
3.5 まとめ

- (1) 図-17に示すように、今回の試験は、過去の同種の試験結果とほぼ同様の結果となり、少なくとも疲労限として $\Delta\sigma = 30 \text{ kg/mm}^2$ とすることが可能である。
- (2) グラウト材に生じるクラックは、注入時より 15 kg/mm^2 荷重を上げた状態で巾 0.05 mm とヘアークラック程度である。

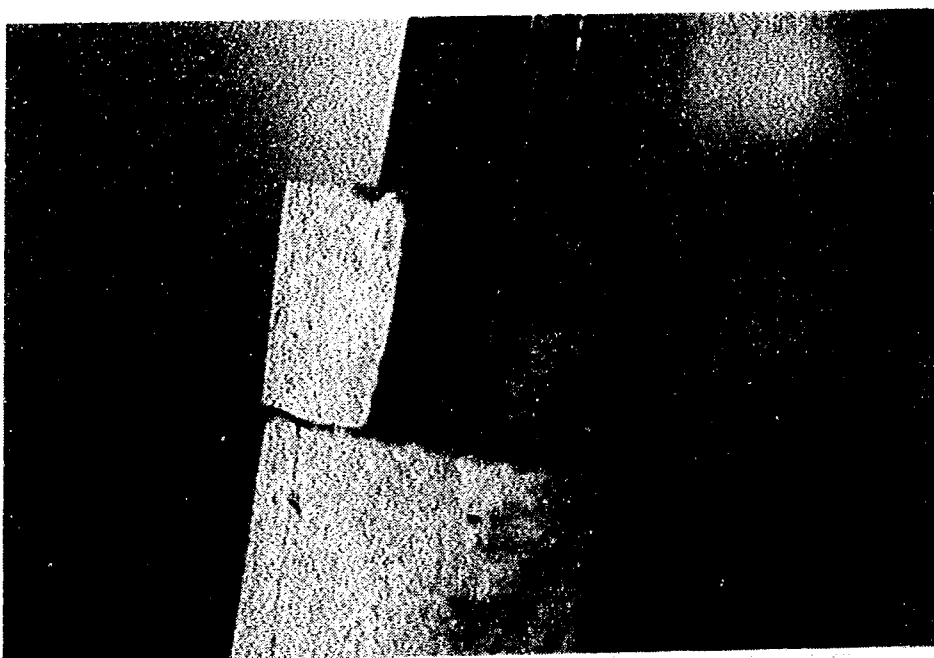
また、このクラックと鋼線の破断位置の相関はなく、疲労強度も低下させないことから、グラウト材の影響による疲労強度の低下は考えなくとも良い。



写真一8
疲労供試体



写真一9
グラウト材のクラック



写真一10
鋼線の破断位置

4. 結 論

試験の結果、当初の目的に対し次のような結論を得ることができた。

- (1) 我が国最大規模の Hi Am アンカーケーブルの製作において、鑄込み装置に若干の改良を必要としたほかは、とくに不都合を生じることはなかった。
- (2) 現道路橋示方書に準じた許容荷重に対して、ソケットコーン部の拔出量は 1.1 ~ 1.7 mm と非常に小さい値であり、引張型ソケットではむしろその量が小さい。
また、許容荷重を大中に超えた状態にあっても、拔出量は急増することはない。
- (3) 引張型ソケットの隅角部には、10 を超える応力集中率が存在し、許容応力時にはすでに降伏ひずみをはるかに超える。しかし、除荷および再負荷を行った場合、隅角部の繰返し応力巾はケーブルのそれとほぼ同等であり、塑性ひずみの繰返しもほとんどみられないことから、極端に疲労強度を下げる要因とはならないと思われる。ただし、隅角部の R をできるだけ大きくとり、応力集中を低くする形状とするのが望ましいことについては言うまでもない。
- (4) Hi Am アンカーケーブルの疲労限は、少なくとも 30 kg/mm^2 以上であると考えられる。これは、過去の同種の実験結果とも一致する点である。
- (5) グラウトの存在によるケーブルの破断性状への影響は、皆無とは言えないが、少なくとも疲労強度を低下させるものではない。

キーワード 弥栄大橋, 斜張橋, HiAmアンカーケーブル, 載荷試験, 疲労試験

要 旨

弥栄大橋斜張橋に採用されるHiAm(ハイアム)アンカーケーブルの実物大供試体による引張試験および疲労試験の結果をとりまとめたものである。

○

郵便はがき

郵便切手を
はって下さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所構造橋梁部

橋 梁 研 究 室

御中

No. 18

No. 18

配布先氏名

配布先住所

○

○

土木研究所資料第 1810 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

○