

鋼管矢板工法に関する研究（その1）

——鋼管矢板井筒基礎の一体性と継手のせん断抵抗——

小 粥 庸 夫

§ 1. 序 論

最近、社会資本充実や生産の合理化の掛声とともに地域社会全体に影響を及ぼす大規模な公共建設やコンビナート建設がおおい。

そして、建設工事の合理化、大型化が進み、土木工事や建築基礎工事においても従来の鋼矢板にかわって鋼管矢板がつかわれることがおおくってきた。

これは、水深の深い岸壁や、天端高の高い護岸、深い土留壁あるいは根入れの深い大きな橋脚基礎の建設工事には従来の鋼矢板では断面係数が不足することがおもな理由であるが、その他にも鋼管矢板が従来の鋼矢板にない次のような特長をもっているからである。すなわち、鋼管矢板は矢板と基礎くいの機能を同時に発揮でき、継手にモルタルなどを注入すれば止水性を発揮できる特長をもっている。

しかし、鋼管矢板は開発が始められてから10年足らずしか経っておらず、従来の鋼矢板などに比較して未知のことがらも多く、開発を進めればさらに新しい可能性を見いだせることも考えられる。

そこで、ここに鋼管矢板の施工性や構造特性などに關して今までに行なった、あるいはこれから行なう実験や実測あるいは検討などを順次報告する。

本論は、その第1報として“鋼管矢板井筒基礎の一体性と継手のせん断抵抗”について報告する。

橋梁などの基礎として鋼管矢板を井筒に打って矢板式基礎を施工する場合、井筒の一体性を高めるため、その継手にモルタルを注入し頂版を設ける方法がある。頂版は、荷重を均分して井筒に伝えるとともに、井筒の剛性を高める効果が期待される。そして、注入モルタルは、止水性を高め、継手のせん断抵抗を高め井筒の剛性を高める効果が期待される。

これらの効果を把握するため種々の現場実験が行なわれ、その結果¹⁾が報告されているが、いずれも現場実験

であるため細部にわたる検討が少なかった。

そこで、今回は、鋼管矢板井筒基礎の一部分をとりだした試験体を製作し、頂版の剛性ならびに注入モルタルのせん断抵抗と鋼管矢板井筒の一体性の関係を調べる目的で室内実験を行なった。

その結果、プレパクト・モルタルを注入した鋼管矢板井筒継手のせん断抵抗は、プレパクト・モルタルと継手鋼管の付着抵抗によって決まり、頂版と注入プレパクト・モルタルは鋼管矢板井筒の剛性を高めるのに有効な方法であることなどが明らかになった。

§ 2. 実験計画

鋼管矢板井筒基礎は、矢板鋼管を連続して円形や、矩形、長円形などの閉鎖形状に打込み、頂版を設け、必要によっては継手にモルタル注入を行なって、井筒の一体性を高めた構造体である。したがって、群ぐいのおのおのの矢板鋼管がバラバラとなって外力に抵抗するものでもなく、といて各矢板鋼管が完全に一体となって外力に抵抗するものではない。

そこで、頂版の剛性ならびに継手注入モルタルのせん断抵抗と、鋼管矢板井筒の一体性の関係を調べる目的で、鋼管矢板井筒基礎の一部分をとりだした試験体を製作し、室内実験を行なった。

試験体は、表一に示すように試験荷重の種類によって、直接せん断試験体と曲げ試験体の2種類に大別できる。直接せん断試験体は、図一に示すように鋼管矢板井筒基礎の継手部のみをとりだしたもので、プレパクト・モルタルを注入した継手部のせん断抵抗を調べる目的で、これに直接せん断荷重を加え、継手部のずれひずみならびに最大せん断耐力を測定した。曲げ試験体は、図二に示すように鋼管矢板井筒基礎のせん断応力が最大となる中立軸付近に相当する2本の鋼管矢板をとりだしたもので、頂版の剛性ならびに注入プレパクト・モルタル

ルのせん断抵抗と鋼管矢板井筒基礎の一体性を調べる目的で、これに一点載荷曲げ荷重を加え、継手部のずれひずみ、矢板鋼管のひずみ、試験体両端部に溶接した鋼板（以下、端部拘束板とよぶ）のひずみおよび曲げたわみを測定した。なお、この端部拘束板は、試験体両端部のおのおの2枚の鋼板からなり、実構造体の頂版の拘束効果を想定したものである。この端部拘束板の長さを変えることにより、頂版厚の鋼管矢板井筒基礎に及ぼす一体性の効果がわかるものと思われる。

2.1 試験体

試験体は、表-1に示すように直接せん断試験体が2体、曲げ試験体が6体、合計8体ある。直接せん断試験体は、2体とも同仕様で、継手にプレバクト・モルタルを注入する。曲げ試験体は、おのおの異なった仕様で、継手にプレバクト・モルタルを注入するもの3体、しないもの3体で、端部拘束板のあるもの4体、ないもの2体である。なお、これらの試験体のうち、1M、2M、3Mは、おのおの1O、2O、3Oの実験後に継手にプレバクト・モルタルを注入して、それを用いた。

2.1.1 材料ならびにプレバクト・モルタルの配合

試験体の素材は、鋼管、端部拘束板およびプレバクト・モルタルの3つに大別される。

プレバクト・モルタルは、配合を次のようにして、プレバクト電動4切ミキサ(200r.p.m.)で3分間練り混ぜる設計基準強度(2週) $F_o = 180 \text{ kg/cm}^2$

所要フロー値	20±2sec
砂	F.M. 1.4~2.2
1バッチ	0.088㎡

セメント (kg)	砂 (kg)	水 (kg)	混和剤 (袋)	水セメント比 (%)
75	120	36	1/2	48.0

鋼管、端部拘束板、プレバクト・モルタルの強度は、表-2に示す通りである。

素 材	圧縮	引 張		
	強度 kg/cm^2	強度 kg/cm^2	降伏点 kg/cm^2	伸率 %
鋼 管		STK-41相当		
窓部拘束板		SS-41相当		
プレバクト・モルタル	178			

表-2 素材強度

2.1.2 形状寸法

試験体は、形状寸法の相異によって図-1に示すような直接せん断試験体と、図-2に示すような曲げ試験体の2つに大別される。

直接せん断試験体は、 $H-150 \times 150 \times 7 \times 10 \times 1100$ の両側に $\phi-165.2 \times 7.1 \times 1000$ の継手鋼管を溶接して2面せん断で破壊するようにし、底部にはタイ・バーの役目をするものとして鋼板 $\text{E}-944.4 \times 400 \times 16$ を溶接した。

曲げ試験体は、 $\phi-165.2 \times 7.1 \times 5000$ の継手鋼管の両側に $\phi-450 \times 12 \times 5500$ の鋼管矢板を溶接したものである。さらに、端部拘束板として、2O、2Mには鋼板 $\text{E}-300 \times 9 \times 250$ を、3O、3Mには鋼板 $\text{E}-300 \times 9 \times 500$ をそれぞれ試験体両端に溶接した。

2.1.3 継手プレバクト・モルタルの注入

OM-1、OM-2は、鉛直に支持した状態で、継手

項目	試験荷重	仕 様		重 (単位kg)			参照図	
		継 手 プレバクト モルタル	端 部 拘 束 板	主 な 鋼 材	鉄	プレバクト モルタル		計
OM-1	せん断	無	無	$4\phi-165.2 \times 7.1 \times 1000$	261	134	395	図-1
OM-2				$3H-150 \times 150 \times 7 \times 10 \times 1000$				
1O	曲 げ	無	無	$2\phi-457.2 \times 12 \times 5500$ ($A=167.8 \text{ cm}^2$ $I_o=416 \times 10^2 \text{ cm}^4$)	1970	0	1970	図-2
1M		有			1970	335	2310	
2O		無	4φ- 300× 9×250	$2\phi-165.2 \times 7.1 \times 5000$ ($A=35.26 \text{ cm}^2$ $I_o=110 \times 10 \text{ cm}^4$)	1990	0	1990	
2M		有			1990	335	2330	
3O		無	4φ- 300× 9×500		2010	0	2010	
3M		有			2010	335	2350	

表-1 試験体一覧

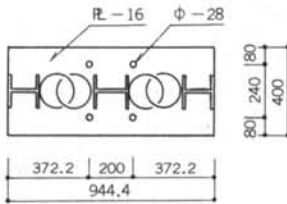
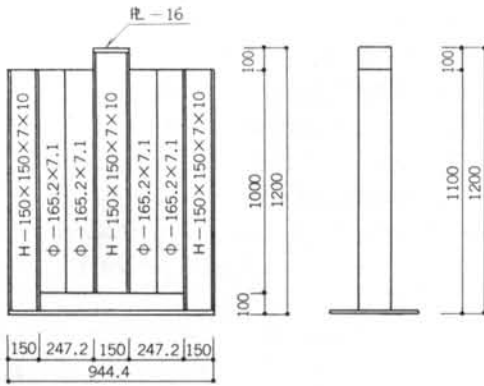


図-1 OM試験体

鋼管の底面を木板でふさぎ、継手鋼管のかみ合せ部分のすき間に油粘土をつめて漏水などがないようにした後、継手鋼管の上面から静かにプレキャストモルタルを注入した。

1M, 2M, 3Mは、横にして約1.5/5.5の勾配で斜めに支持した状態で、継手鋼管の底面を木板でふさぎ、継手鋼管のかみ合せ部分のすき間に油粘土をつめて、漏水などがないようにした後、継手鋼管の上面から、ホースを用いて静かにプレキャスト・モルタルを注入した。

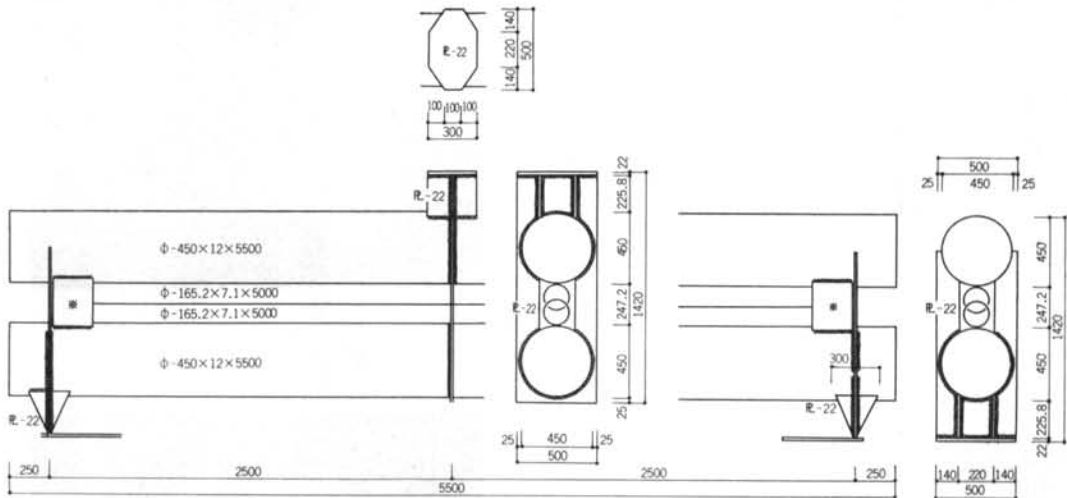
継手プレキャスト・モルタルは、すべて2週間の湿潤養生の後試験した。

2.2 載荷

写真-1ならびに写真-2に示すように、研究所塩浜分室の200ton 構造物試験機（山本扛重機kk 200ton 油式ジャッキ使用）を用いて載荷した。

載荷条件は、直接せん断試験体については図-3に示す矢印の位置に載荷する直接せん断荷重とし、曲げ試験体については図-3に示す矢印の位置に載荷する中央集中曲げ荷重とし支点スパン500cmとした。

荷重階は、表-4に示すように、直接せん断試験体については原則として5ton 間隔で2サイクルとした。曲



※ 端部拘束板

1O, 1M 端部拘束板なし

2O, 2M R-300×9×250

3O, 3M R-300×9×500

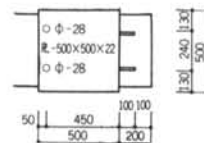
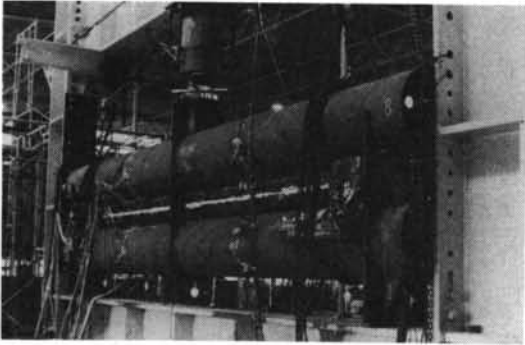


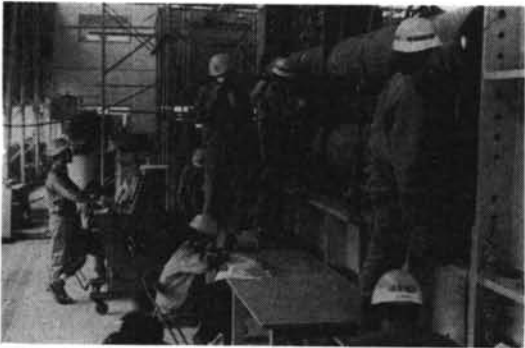
図-2 1O, 1M, 2O, 2M, 3O, 3M試験体

げ試験体については原則としてプレパクト・モルタルを注入しない1O, 2O, 3Oは5ton 間隔で2サイクルとし、プレパクト・モルタルを注入した1M, 2M, 3Mは5tonあるいは10ton間隔で4サイクルとした。

荷重速度は、各荷重ごとにダイヤル・ゲージ、コンタクト・ゲージおよびストレイン・ゲージで測定し継手の観察をする時間も考慮して、1荷重階約10分とした。



写真一1 3M試験体

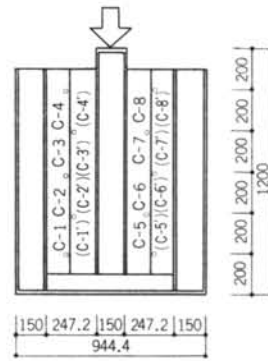


写真一2 1M実験状況

2.3 測定

直接せん断試験体ならびに曲げ試験体の測定計画は、図-3ならびに図-4に示すとうりである。

継手鋼管のずれひずみの測定は写真-3に示すように標点距離200mmのコンタクト・ゲージ(服部時計kk)を用い、たわみの測定は1/100mmダイヤル・ゲージを用い、矢板鋼管ならびにエンド・プレートのひずみの測定は写真-4に示すように1軸



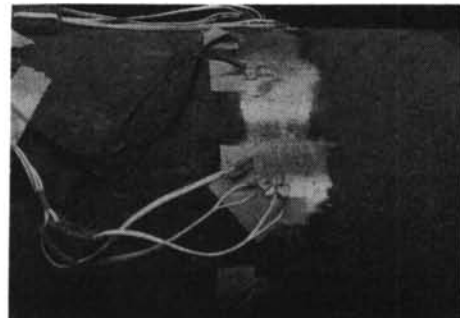
記号
○ コンタクト・ゲージ標点

図-3 OM測定計画

ならびに3軸ストレインゲージを用いてのおの図-3ならびに図-4に示す位置について行なった。さらに、継手鋼管のずれひずみの測定に際しては所定の部分に石こうを塗りプレパクト・モルタルの亀裂を目測して、全体のずれひずみ分布の観察をした。



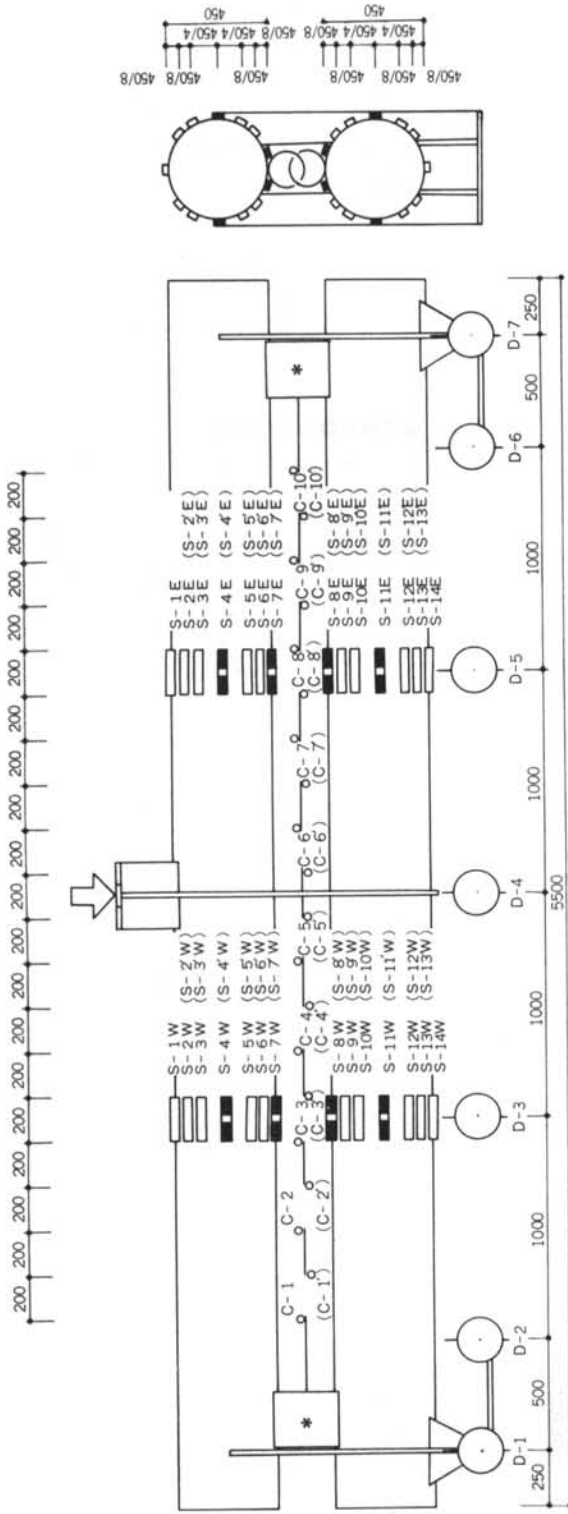
写真一3



写真一4

試験体	荷重段階 (ton)
OM-1	0 5 20 25 20 5 0
OM-2	0 5 破壊
1 O	0 5 20 25 20 5 0
2 O	
3 O	0 5 45 50 45 5 0
1 M	0 5 20 25 20 5 0
2 M	0 5 45 50 45 5 0 0 5 90 100 90 10 0
3 M	0 10 150 160

表-3 荷重階



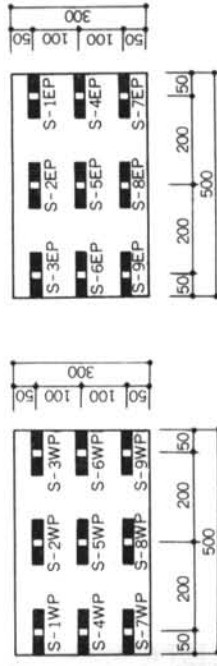
* 端部拘束板

10, 1M 端部拘束板なし

20, 2M R-300×9×250

30, 3M R-300×9×500

30, 3M R-300×9×500の場合



記号

- ダイヤル・ゲージ (1/100MM)
- 1軸ストレイン・ゲージ
- 3軸ストレイン・ゲージ
- コンタクト・ゲージ標点

図-4 1O, 1M, 2O, 2M, 3O, 3M測定計画

§ 3. 実験結果

3.1 直接せん断試験体の実験結果

OM-1ならびにOM-2は、荷重増加につれておのおの図-5、図-6に示すように破壊面応力度 σ が約2.5kg/cm²まではほぼ直接的にずれひずみ度が増加し、荷重をゼロに戻した時の残留ずれひずみ度 ϵ は約200×10⁻⁶~600×10⁻⁶である。

しかし、破壊断面応力度 σ が約2.5kg/cm²を越えるとすぐプレパクト・モルタルの上下面に亀裂が生じ、ずれひずみ度が急速に増加し、破壊面応力度 σ が約5.0kg/cm²

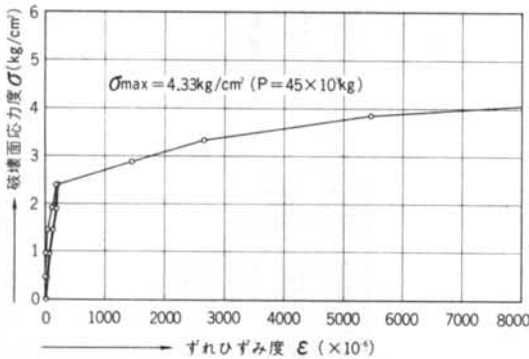


図-5 OM-1 $\sigma \sim \epsilon$

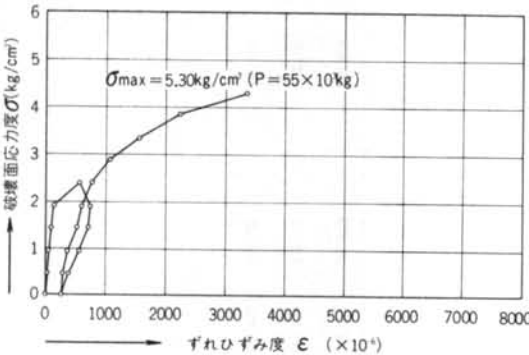


図-6 OM-2 $\sigma \sim \epsilon$

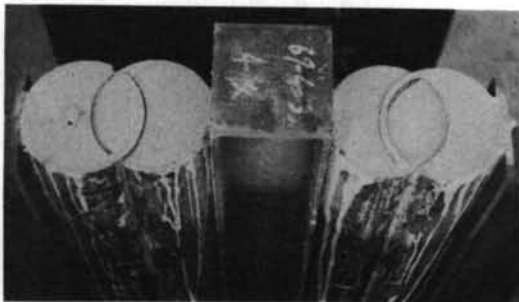


写真-5 OM破壊状況

で急激に破壊する。

破壊は、写真-5に示すように、プレパクト・モルタルと継手鋼管の付着が切れた状態となって生じる。

なお、図-5ならびに図-6は破壊面応力度 σ とずれひずみ度の関係を示したもので、ここでいう破壊面応力度とは(1)式に示すように載荷重Pをプレパクト・モルタルと継手鋼管の付着破壊面積で割った値であり、

$$\sigma(\text{kg/cm}^2) = P(\text{kg}) / \pi r l (\text{cm}^2) \quad \dots(1)$$

ただし r : 継手鋼管の直径

l : 継手鋼管の長さ

ずれひずみ度は図-3に示す16測定値を平均して求めた値である。

3.2 曲げ試験体の実験結果

プレパクト・モルタルを注入しない1O・2O・3Oは、載荷後プレパクト・モルタルを注入しておのおの1M・2M・3Mとして再使用するため試験体中央部下縁のひずみ度が弾性域の $\epsilon = 500 \times 10^{-6}$ でおさえ最大載荷P=50tonとし、プレパクト・モルタルを注入した1M、2M、3Mは試験体中央部下縁のひずみ度が完全に塑性域に入るようにと $\epsilon = 2000 \times 10^{-6}$ でおさえ最大載荷P=160tonとした。

おのおの試験体の“集中荷重Pと中央たわみ δ_c の関係”、“集中荷重Pと継手のずれひずみ度分布の関係”、“集中荷重Pと矢板鋼管のひずみ度分布の関係”および“端部拘束板の主応力分布”は、図-7から図-12、図-13から図-18、図-19から図-24および図-25から図-28に示すとおりである。

図中、図-13から図-18のずれひずみ度は試験体の両側面の平均値であり、図-19から図-24のひずみ度は左右両断面の平均値であり、図-25から図-28の主応力度は左右の端部拘束板のひずみ度の平均値から鉄のヤング率を $E = 2.1 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$ として求めた値である。

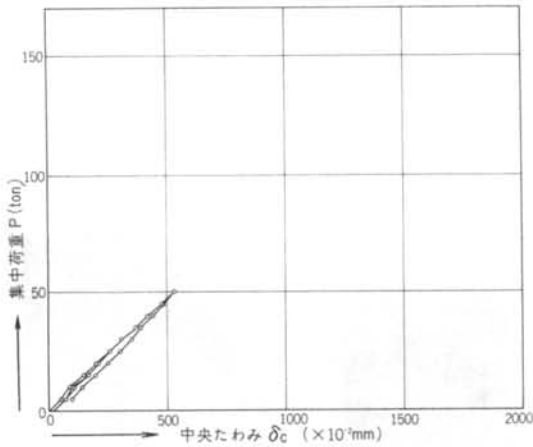
1O、2O、および3Oは最大載荷P=50tonであるため、継手のずれひずみが試験体両端にいくにしたがい大きくなり時折継手鋼管のずれる音がするだけで、他に特別な破壊現象などは認められなかった。

1M、2Mおよび3Mは最大載荷P=160tonであり継手にプレパクト・モルタルを注入してあるので、1O、2Oおよび3Oに比較してかなりの破壊現象がみられた。

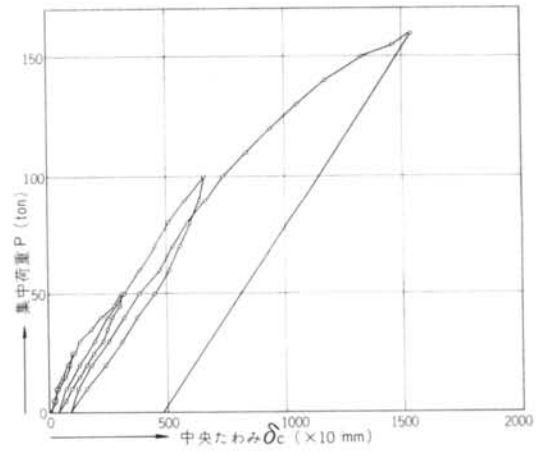
すなわち、1Mは、P=25tonで継手プレパクト・モルタルに写真-6に示すような亀裂が大きな音とともに発生し、継手のずれひずみが急激に大きくなった。

2MはやはりP=25tonでプレパクト・モルタルと継手鋼管の付着が切れはじめた。3Mは、写真-7ならび

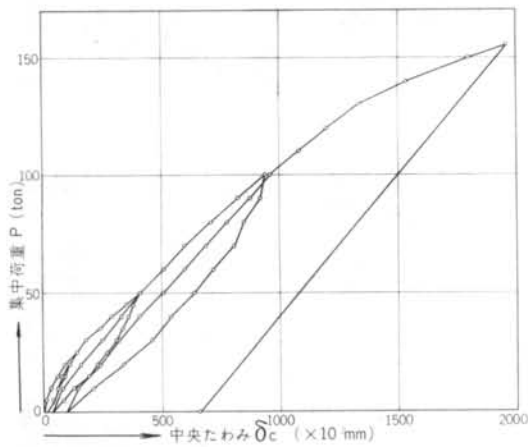
に写真—8に示すように $P=40\text{ton}$ でプレバクト・モルタルと継手鋼管の付着が切れはじめ、それが荷重増加とともに少しずつ進展していった。



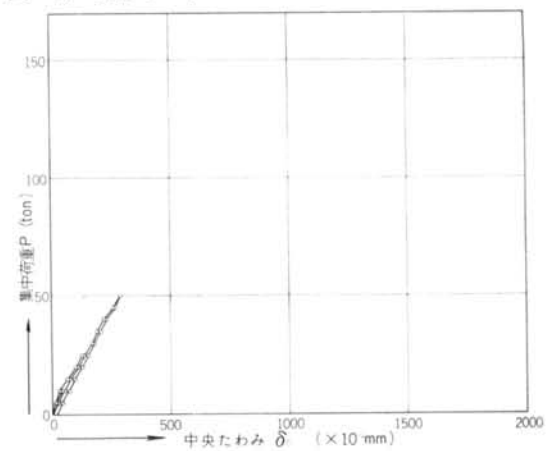
図—7 1O $P \sim \delta_c$



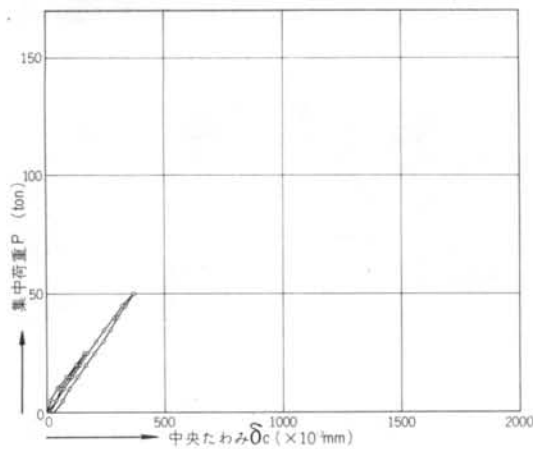
図—10 2M $P \sim \delta_c$



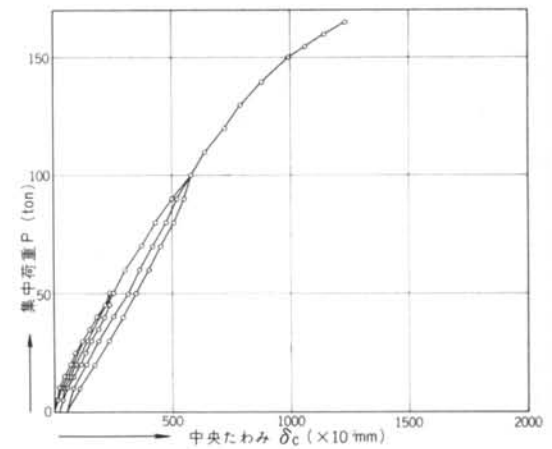
図—8 1M $P \sim \delta_c$



図—11 3O $P \sim \delta_c$



図—9 2O $P \sim \delta_c$



図—12 3M $P \sim \delta_c$

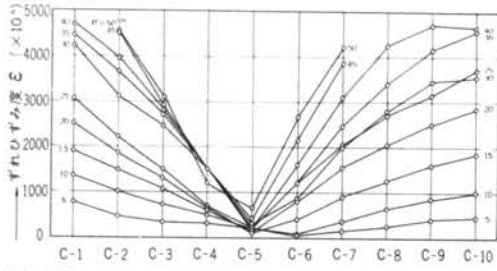


図-13 1Mずれひずみ度

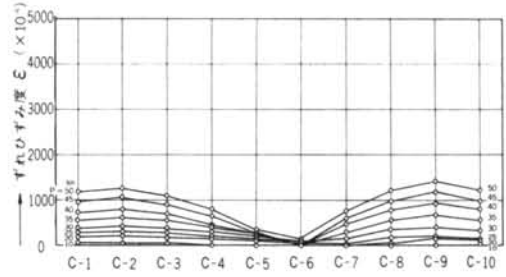


図-18 3Mずれひずみ度

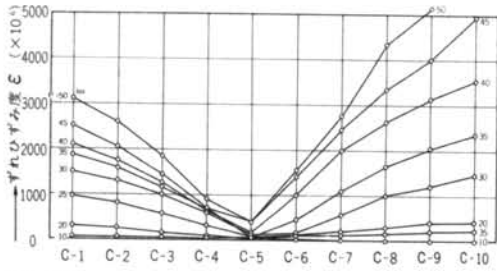


図-14 1Mずれひずみ度



写真-6 1M破壊状況

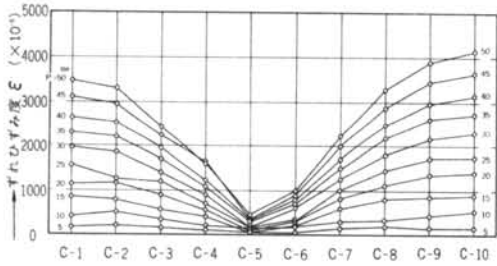


図-15 2Mずれひずみ度

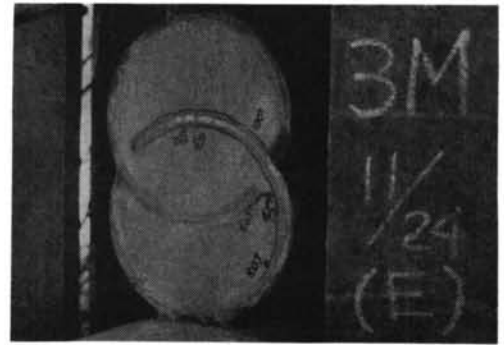


写真-7 3M破壊状況

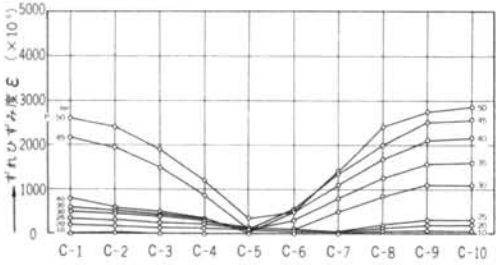


図-16 2Mずれひずみ度

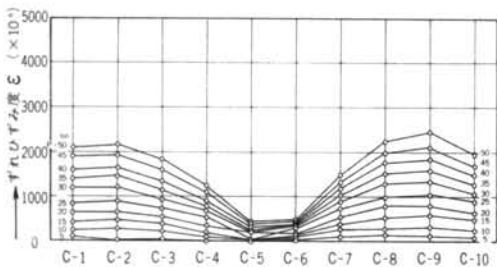


図-17 3Mずれひずみ度

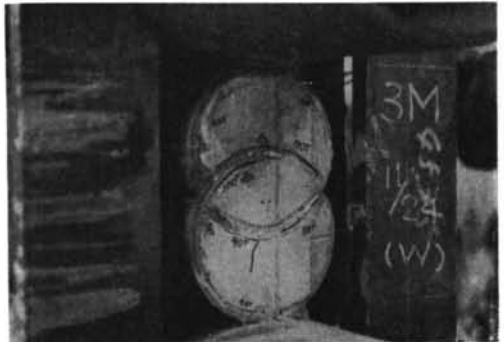


写真-8 3M破壊状況

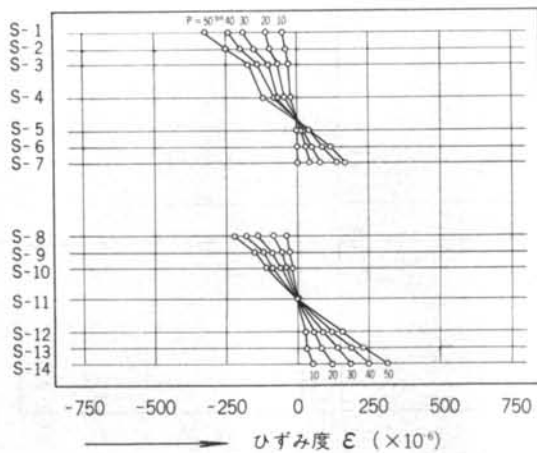


図-19 1Oひずみ度

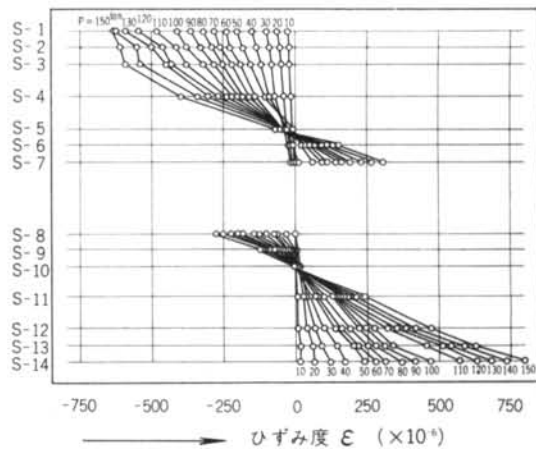


図-22 2Mひずみ度

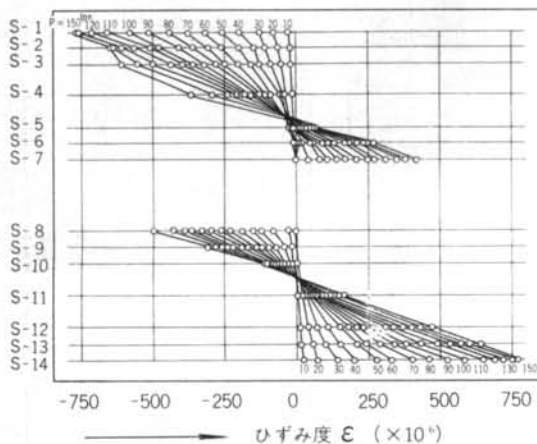


図-20 1Mひずみ度

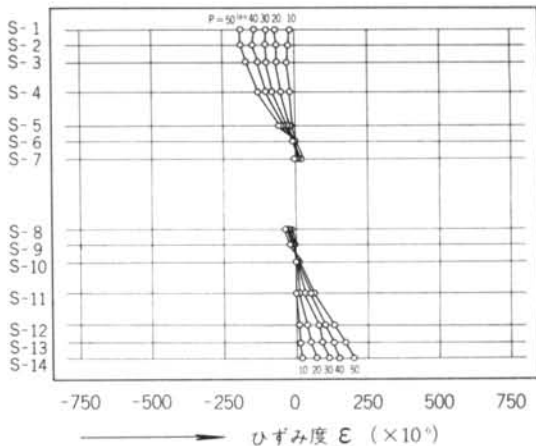


図-23 3Oひずみ度

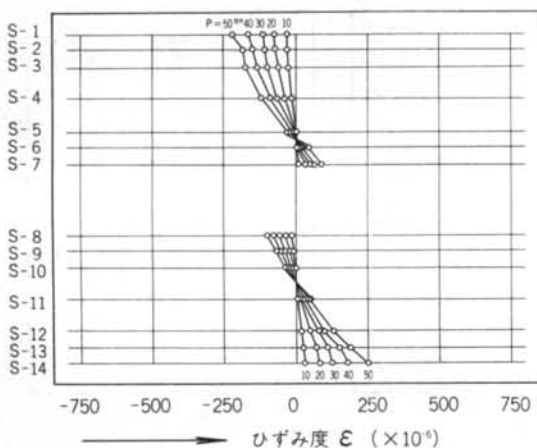


図-21 2Oひずみ度

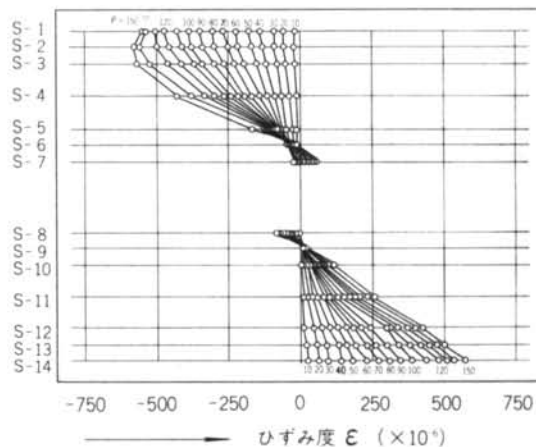
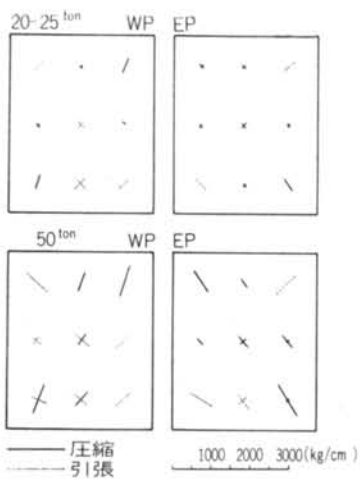
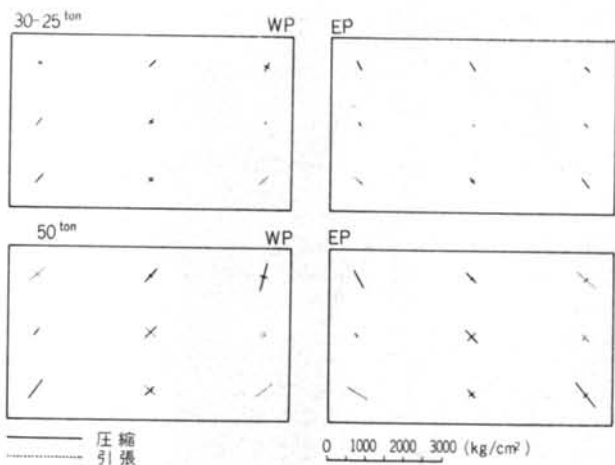


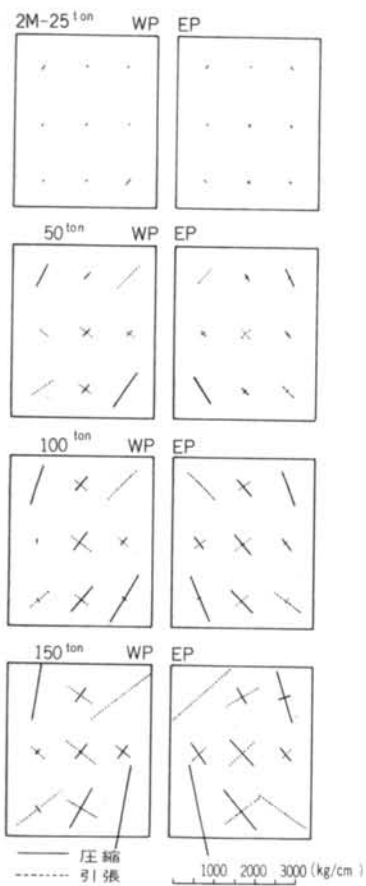
図-24 3Mひずみ度



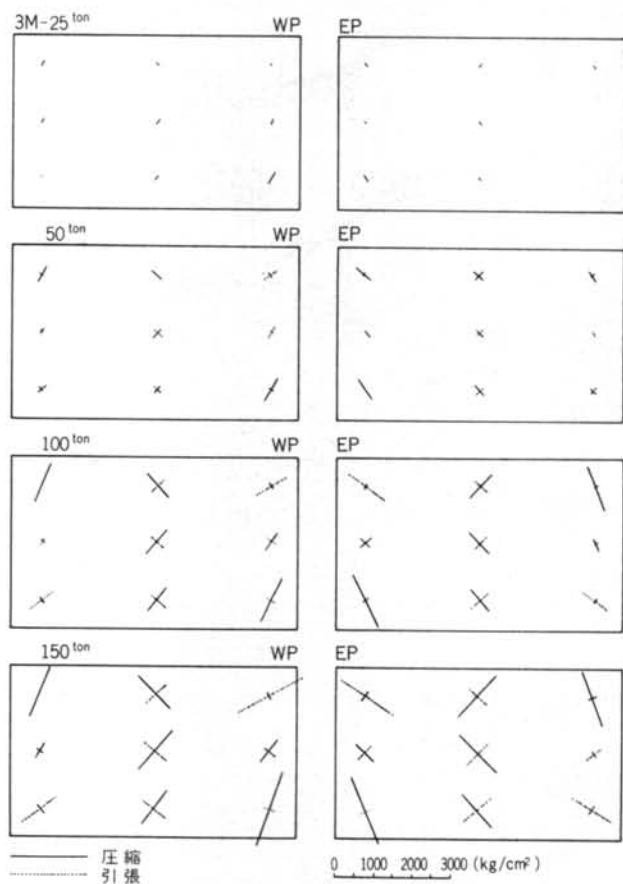
图一25 2O端部拘束板主応力度



图一27 3O端部拘束板主応力度



图一26 2M端部拘束板主応力度



图一28 3M端部拘束板主応力度

§ 4. 考 察

4.1 直接せん断実験にみるプレバクト・モルタル注入継手部のせん断抵抗

プレバクト・モルタルを注入した継手は、図-5ならびに図-6に示すように破壊面応力度 σ が約 2.5kg/cm^2 まではプレバクト・モルタルがせん断変形をしはじめずれひずみがほぼ直線的に変化し、荷重をゼロに戻した時の残留ずれひずみも少なく、プレバクトモルタルに亀裂の発生が認められず、ほぼ弾性的な性質として近似できる。

破壊面応力度 σ が約 2.5kg/cm^2 を越えるとプレバクト・モルタルに亀裂が発生し、プレバクト・モルタルと継手鋼管の付着が切れはじめ、ずれひずみが急速に増大し、破壊面応力度 σ が約 5.0kg/cm^2 で急激に破壊する。

この継手の破壊面応力度 σ とずれひずみ ϵ との関係を求めるために、OM-1ならびにOM-2の処女荷重における値をプロットして図-29に示す。図-29によると $\sigma=2.5\text{kg/cm}^2$ を界にして(2)式に示すような2本の直でほぼ近似できる。

$$\begin{aligned} \sigma &= 1.5 \times 10^4 \text{kg/cm}^2 \epsilon & (0\text{kg/cm}^2 \leq \sigma \leq 2.5\text{kg/cm}^2) \\ \sigma &= 4.8 \times 10^3 \text{kg/cm}^2 (\epsilon - \frac{5}{3} \times 10^{-4}) + 2.5\text{kg/cm}^2 & (2.5\text{kg/cm}^2 \leq \sigma) \end{aligned} \quad \dots (2)$$

プレバクト・モルタルを注入した継手がせん断破壊す

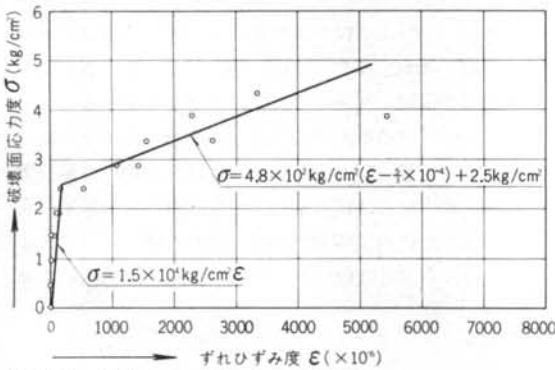


図-29 OM $\sigma \sim \epsilon$

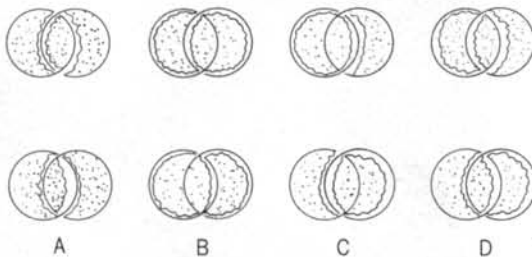


図-30 付着破壊型式

るときには、①プレバクト・モルタル自体がせん断破壊するもの、②継手鋼管とプレバクト・モルタルの付着が切れて破壊するもの、③前記の①と②が組合って破壊するものなどが考えられる。本実験の継手型式の場合は、②が生じる可能性が大きいと考えられるので、これについて考察する。

すなわち、継手鋼管とプレバクト・モルタルの付着が切れて破壊する場合は、付着の切れる部分が図-30に示すように④、⑤、⑥、⑦4つの型に分かれる。おのおの型の付着の切れる部分の長さは、継手鋼管の直径を R とすれば、 $R, 5/3R, 4/3R, 4/3R$ となり、付着の切れる部分の長さが最短の④型で破壊する可能性が大きい。実際、破壊型式は、写真-5に示すようにこの④型で破壊をしており、破壊時の破壊面応力度 σ は、約 5.0kg/cm^2 となる。

4.2 曲げ実験にみるプレバクト・モルタルを注入しない継手部ならびにプレバクト・モルタルを注入した継手部のせん断抵抗

曲げ試験体の継手部の応力状態は、直接せん断試験体の継手部の応力状態のように継手部全域にわたってほぼ一様な純せん断応力が働らくわけではないので、ずれひずみの分布は継手部全域にわたって一樣になるといえることはない。

すなわち、継手部にプレバクト・モルタルを注入した1M、2Mおよび3Mは、いずれも $P=25\text{ton}$ 前後で試験体の両支点から約 $100 \sim 150\text{cm}$ 中央に寄った部分に初亀裂が生じ、以後それが進展していき継手部全域にずれ亀裂が生じるようになる。これはこの部分が載荷点ならびに支点からはなれているため押圧力が小さく他の部分に比較して亀裂が入り易いからである。1Mのずれひずみ度の分布は図-14に示すようにほぼ“V”字型を示し $P=50\text{ton}$ における継手端部のずれひずみ度は $\epsilon=5000 \times 10^{-6}$ に達する。これに対して2Mならびに3Mのずれひずみ度の分布は図-16ならびに図-17に示すように継手部端部のずれひずみ度がやや小さくなる傾向を示し、2Mならびに3Mの $P=50\text{ton}$ におけるずれひずみ度もおのおの $\epsilon=2600 \times 10^{-6}$ ならびに $\epsilon=1200 \times 10^{-6}$ と小さくなる。これは、端部拘束板の拘束効果によるものである。

継手部にプレバクト・モルタルを注入しない1O、2Oおよび3Oのずれひずみ度の分布は図-13、図-15および図-17に示すように、おのおの1M、2Mおよび3Mのずれひずみ度の分布に比較してずれひずみ度の値が約2倍になっており、各荷重毎のずれひずみ度の分布を示す折線の間隔は、1M、2Mおよび3Mが $P=25\text{ton}$ 以

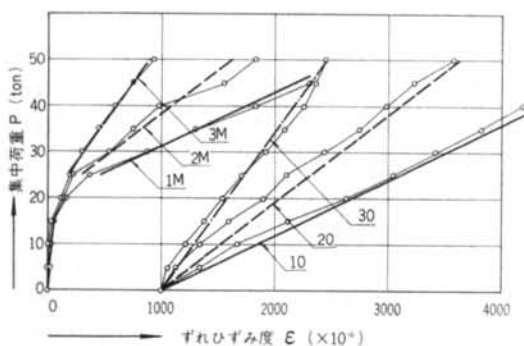


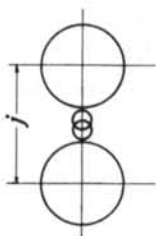
図-31 $\epsilon \sim P$

下では密になりそれ以上では疎になっているのに対して各荷重ともほぼ同間隔となっている。これは、プレキャスト・モルタルが注入されていないので、載荷途中に継手に亀裂が入るなど不連続な状態がないからである。

おのおのの試験体間の「ずれひずみ度 ϵ と集中荷重 P 」の関係と比較するために各測定点の測定値を平均すると図-31に示すようになる。図-31によれば、1M, 2M および 3M の折線は $P=25\text{ton}$ 前後までほぼ同様な傾向を示すが、 $P=25\text{ton}$ 以上はおのおの異なった一定勾配を示しずれひずみ度の値も次第に差が大きくなる。1O, 2O および 3O の折線は P に関係なくおのおの初からほぼ一定の勾配を示す。そして、 $P=25\text{ton}$ 以上の 1M, 2M および 3M の勾配は、図-31の太点で示すようにおのおの 1O, 2O および 3O の勾配とほぼ同じ値となる。これは $P=25\text{ton}$ 前後でプレキャスト・モルタルに亀裂が入った後のずれひずみ度の増加量はプレキャストモルタルを注入しない継手のずれひずみ度の増加量とほぼ同じ値となったことを示し、このような状態でのずれひずみ増加量に関する両者の差はなくなったものと考えることができる。

4.3 曲げ試験体の一体性と端部拘束板の剛性ならびにプレキャスト・モルタル注入の有無の関係

4.1ならびに4.2で述べたように継手部のずれひずみは集中荷重 P の値とともにいろいろに変化するもので、曲げ試験体の曲げ剛性は鋼材の弾性域においても一定とはならない。ここでいう曲げ試験体の一体性とは、この関係を総括して表わした言葉であり、本論では具体的に継手効率 μ として示す。



ここで継手効率 μ とは継手のせん断抵抗の大きさを比較するための係数で、(3)式で定義する。(3)式ではスリットが入った継手鋼管の剛性を無視

$$I_x = 2I_0 + \mu \cdot 2A \left(\frac{j}{2} \right)^2 \quad \dots (3)$$

ただし I_x : 全体の見かけ断面二次率
 I_0 : 矢板鋼管単体の断面二次率
 A_0 : 矢板鋼管単体の断面積
 j : 矢板鋼管の中心間距離

して考えており、継手のせん断抵抗が全くない場合は $\mu = 0$ となり、継手のせん断抵抗が完全に発揮されて 2本の鋼管が一体になる時は $\mu = 1$ となる。

おのおのの曲げ試験体の継手効率 μ は、中央たわみ δ_c の値を用いて(4)式によって計算できる。

$$\mu = \frac{\frac{Pl^3}{48E\delta_c} - 2I_0}{2A \left(\frac{j}{2} \right)^2} \quad \dots (4)$$

ただし E : 鋼のヤング率
 l : 支点距離

図-7から図-12に示す $P \sim \delta_c$ の関係から処女荷重階の δ_c をとり、 $\mu=1.0$, $\mu=0.5$ および $\mu=0.0$ の理論値とともに図-32に示す。

図-32によると、3Mが $P=35\text{ton}$ まで $\mu=0.5$ ないしはそれ以上を保っているほかはほとんど $\mu=0.5$ から $\mu=0.1$ の間にあり、プレキャストモルタルを注入した 1M, 2M および 3M が低荷重では μ が高く高荷重になるにしたがって μ が低くなるのに対してプレキャスト・モルタルを注入しない、1O, 2O および 3O は荷重に関係なく μ の値が一定である。このことは、図-19から図-24によって中立軸の位置の変化をみると、1M, 2M および 3M の中立軸位置は荷重が増大するとおのおの上下方向へ移動するのに対して 1O, 2O および 3O の中立軸位置は荷重に関係なくほぼ一定であることからわかる。また、端部拘束板の主応力度は図-25から図-28に示すように 2O ならびに 3O は $P=25\text{ton}$ でも主応力度の大き

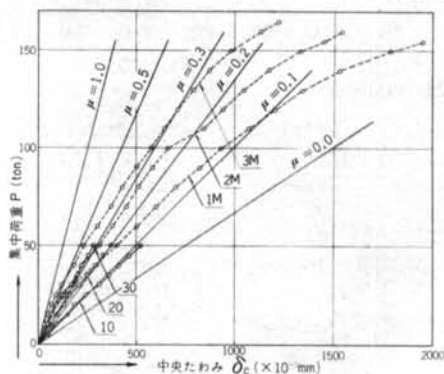


図-32 各試験体の中央たわみと継手効率

さが目立つのに対して2Mならびに3MはP=25tonでは主応力度の大きさは小さくプレパクト・モルタルにほとんど亀裂が発生してしまつたP=50ton以後に主応力度の大きさが目立ちはじめ、2MのP=150tonでは約2600kg/cm²の圧縮力が作用している部分がありその部分ではほぼ降伏点に達しているものと思われる。プレパクト・モルタルを注入した試験体の端部拘束板の主応力分布とプレパクト・モルタルを注入しない試験体の端部拘束板の主応力分布は端部拘束板の周辺では全く異なっているが、端部拘束板の中央部ではどの試験体も水平方向から約45°傾斜して圧縮応力と引張応力が生じており典型的なせん断抵抗状態を示している。

ここで、おのおのの継手効率 μ の概略の値は、表一4に示すようになる。

試験体	荷重	
	$P < (M_{max} = 62.5tm) < P$ $S = 25ton$	
プレパクト・モルタルを注入しない継手	1O	$\mu = 0.10$
	2O	$\mu = 0.20$
	3O	$\mu = 0.35$
プレパクト・モルタルを注入した継手	1M	$\mu = 0.20$ $\mu = 0.15$
	2M	$\mu = 0.30$ $\mu = 0.25$
	3M	$\mu = 0.50$ $\mu = 0.40$

表一4 継手効率

4.4 本実験の曲げ試験体の一体性と現場実験の鋼管矢板井筒基礎の一体性

実験室の曲げ試験体と現場の鋼管矢板井筒基礎とは、①継手プレパクト・モルタルの施工精度、②端部拘束板と頂版の剛性、③外力の条件および④矢板の支持条件などの相異によりこれを同一に論ずることはできないが、3M試験体は①試験体全体で負担するモーメントと矢板鋼管単体で負担するモーメントの比が約0.9:0.1であり②この時の継手効率 μ は約0.5となることなどが明らかになり、これらの値は先刻川崎製鉄水島工場において行なつた現場実物実験の結果とほぼ同様の値を示していることがわかつたので、これらのことから3M試験体の端部拘束条件および継手のせん断抵抗などは、現場の鋼管井筒基礎の条件にほぼ近いものであると考えられる。

§ 5. 結論

以上の実験の結果から、鋼管矢板井筒基礎の一体性と

継手のせん断抵抗に関しておよそ次のようなことが明らかになった。

1) 直接せん断実験の結果によれば、プレパクト・モルタルを注入した継手部の破壊は、このような継手型式の場合、プレパクト・モルタル自体のせん断破壊よりむしろ図一30のA型に示すようなプレパクト・モルタルと継手鋼管の付着破壊によって決まる。

2) 1)の付着破壊強度は、約 $\sigma = 5.0\text{kg/cm}^2$ (σ は総せん断力を付着破壊面積で割つた値)となる。

継手部のずれひずみは、約 $\sigma = 2.5\text{kg/cm}^2$ まではほぼ直線的に増大し $\sigma = 2.5\text{kg/cm}^2$ の時約 $\epsilon = 200 \times 10^{-6} \sim 800 \times 10^{-6}$ (ϵ はずれひずみ度)であるが、 $\sigma = 2.5\text{kg/cm}^2$ 以上になるとプレパクト・モルタルと継手鋼管の付着面に亀裂が入りはじめ継手部のずれひずみが急激に増大する。

3) 2)の関係は次式でほぼ近似できる。

$$\sigma = 1.5 \times 10^4 \text{kg/cm}^2 \epsilon \quad (0\text{kg/cm}^2 \leq \sigma \leq 2.5\text{kg/cm}^2)$$

$$\sigma = 4.8 \times 10^2 \text{kg/cm}^2 \left(\epsilon - \frac{5}{3} \times 10^{-4} \right) + 2.5\text{kg/cm}^2 \quad (2.5\text{kg/cm}^2 \leq \sigma)$$

4) 曲げ実験の結果によれば、継手鋼管によって連結された鋼管矢板は、曲げ荷重の増加とともに継手部のずれひずみが増大していき、一体性が次第に低下して矢板鋼管がおのおの単体として抵抗するひずみが大きくなり破壊状態に近づく。

5) 4)の継手部のずれひずみの分布は、継手部全域にわたって一様になるということではなく、中央部が小さく両端部へいくにしたがって大きくなりほぼ“V”字型を示す。

この“V”字型のずれひずみ分布は、端部拘束板を溶接するとその拘束効果によって全体のずれひずみが小さくなるとともに両端部のずれひずみがやや小さくなる傾向を示す。また、継手部にプレパクト・モルタルを注入するとそのせん断抵抗によって全体のずれひずみが小さくなり、なかでもプレパクト・モルタルに亀裂が入る以前にこの傾向が著しい。

6) 5)で述べたプレパクト・モルタルの亀裂は、ほぼP=25ton (Pは集中荷重)で発生する。この時の最大曲げモーメントとせん断力は、おのおの31tm, 13tonである。また、この時の継手部のずれひずみは度約 $\epsilon = 200 \times 10^{-6} \sim 800 \times 10^{-6}$ となり2)で述べた値とほぼ近似する。

7) 5)で述べた継手部のずれひずみの平均をとり荷重との関係を図示すると、図一31に示すようにプレパクト・モルタルを注入したものはP=25ton前後まではほぼ同様な傾向を示すが、それ以上ではおのおの異な

った一定勾配を示す。プレパクト・モルタルを注入しないものはPに関係なくはじめからほぼ一定の勾配を示し、おのおのの勾配はプレパクト・モルタルを注入したもののP=25ton以上の勾配のうちそれぞれ同じ端部拘束のものとはほぼ同じ値となる。

これは、プレパクト・モルタルに亀裂が発生した後のずれひずみの増加量はプレパクト・モルタルを注入しない継手のずれひずみの増加量とほぼ同じ値となったことを示し、このような状態の両者のずれひずみ増加量に関する差はなくなったものと考えられる。

8) 4)で述べた一体性を(4)式に示すような継手効率 μ で表わすと、表-4に示すように $\mu=0.1\sim 0.5$ となる。なかでも、プレパクト・モルタルを注入して端部拘束板 $100\times 9\times 500$ を溶接したものは $\mu=0.4\sim 0.5$ を確保している。

9) 実験室の曲げ試験体と現場の鋼管矢板井筒基礎とは条件が異なるのでこれを同一に論ずることはできないが、3M試験体(プレパクト・モルタルを注入して端部拘束板 $100\times 9\times 500$ を溶接したものは試験体全体で負担するモーメントと矢板鋼管単体で負担するモーメントの比が約0.9:0.1になりこの時の継手効率が約0.5となることが明らかになり、これらの値は川

崎製鉄水島工場において行なった現場実物実験の結果とほぼ同様の値を示していることがわかったので、これらのことから3M試験体の端部拘束条件ならびに継手のせん断抵抗の条件などは現場の鋼管井筒基礎の条件にほぼ近いものであると考えられる。

§ 6. あとがき

本論によってプレパクト・モルタルを注入した継手部のせん断抵抗の状態ならびに鋼管矢板井筒基礎の継手効率のおよその値などがほぼ明らかになった。今後はさらに継手部、頂板、外力の状態および支持条件から鋼管矢板井筒基礎の継手効率を予想する計算式を導き、その継手効率によって鋼管矢板井筒基礎の変形や応力を算出することが必要である。

本実験は、現在川崎製鉄が行なっている「鋼管矢板に関する一連の実験」のうち、著者が担当した部分を川崎製鉄のお許しを得てのせたものです。未筆ながら、ご指導ならびに御協力を戴いた川崎製鉄建材開発部 嶋文雄氏、石渡正夫氏および斉藤侑氏に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 川崎製鉄KK「鋼管矢板井筒工法」昭和44年6月