ＩＳＳＮ　0386－5878
土木研究所資料第3810号

土木研究所資料

塩害を受けたＰＣ橋の耐荷力評価に関する研究(Ⅲ)
－塩害により損傷を受けたＰＣ鋼材の機械的性質－

平成13年3月

国土交通省土木研究所
材料施工部コンクリート研究室

Copyright©(2001)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 General 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、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第3810号 2001年3月

塩害を受けたＰＣ橋の耐荷力評価に関する研究(Ⅲ)
－塩害により損傷を受けたＰＣ鋼材の機械的性質－

コンクリート研究室　室　長　河野　広隆
研　究　員　田中　良樹
交流研究員　木村　哲士*

要　旨

塩害を受けて腐食したＰＣ鋼材は強度が低下するとともに，著しい伸び能力の低下が見られた。しかし，腐食の程度と伸び能力低下の関係やその原因については，まだ明確であるとは言い難い。このことから，34年間供用され，著しい塩害により撤去になったＰＣ橋からＰＣ鋼材を採取して，腐食形状や腐食の程度が機械的性質に及ぼす影響について検討を行った。

キーワード：塩害，ＰＣ鋼材，腐食，伸び，質量減少率，断面減少率，塩化物イオン量

* 交流研究員在職期間（平成11年４月から平成13年３月）

－目　　次－

1．はじめに …… 1
1.1 塩害を受けたＰＣ橋の耐荷力評価に関する研究と腐食したＰＣ鋼材の機械的性質 …… 1
1.2 ＰＣ鋼材の機械的性質と腐食 …… 1
2．実験方法 …… 3
2.1 実験の概要 …… 3
2.1.1 シリーズ１ …… 3
2.1.2 シリーズ２ …… 3
2.2 シリーズ１の実験方法 …… 4
2.2.1 試験片 …… 4
2.2.2 除錆 …… 6
2.2.3 質量減少率の測定 …… 6
2.2.4 腐食形状の分類 …… 7
2.2.5 除錆後の表面形状の計測 …… 7
2.2.6 引張試験 …… 8
2.3 シリーズ２の実験方法 …… 11
2.3.1 実験計画 …… 11
2.3.2 試験片 …… 12
2.3.3 引張試験 …… 14
3．腐食したＰＣ鋼材の引張試験結果（シリーズ１） …… 15
3.1 採取した試験片の腐食状況 …… 15
3.1.1 採取直後と除錆後の外観 …… 15
3.1.2 鋼材の腐食形状 …… 15
3.1.3 質量減少量測定結果 …… 19
3.1.4 除錆後の表面形状計測の結果 …… 20
3.2 試験片の周囲の環境 …… 22
3.2.1 試験片の周囲の塩化物イオン量 …… 22
3.2.2 シースの腐食状況 …… 23
3.2.3 鋼材周辺の塩化物イオン量と腐食状況 …… 24
3.3 引張試験結果 …… 27
3.3.1 引張試験結果一覧 …… 27
3.3.2 荷重伸び曲線 …… 28
3.3.3 破断状況 …… 30
3.3.4 破断位置 …… 32

3.3.5 質量減少率と機械的性質 …… 33
4．人工欠損ＰＣ鋼材の引張試験結果（シリーズ２） …… 35
4.1 引張試験結果一覧 …… 35
4.2 荷重伸び曲線 …… 36
4.3 破断状況 …… 38
4.4 引張強度と断面減少率 …… 40
4.5 伸びと断面減少率 …… 40
5．引張を受けるＰＣ鋼材の切り欠きと機械的性質 …… 41
5.1 欠損部周辺の応力集中と破断位置 …… 41
5.2 切り欠きと引張強度　－破断係数 β － …… 43
5.3 切り欠きと伸び性能 …… 44
5.4 伸びの相似則と切り欠きの影響 …… 47
6．引張を受ける腐食ＰＣ鋼材の機械的性質 …… 49
6.1 腐食の程度を表す指標 …… 49
6.2 腐食ＰＣ鋼材の最大荷重から求めた断面減少率と伸びの関係 …… 49
7．まとめ …… 51

謝辞 …… 52

参考文献 …… 53

参考資料 …… 55

1．はじめに

1.1　塩害を受けたＰＣ橋の耐荷力評価に関する研究と腐食したＰＣ鋼材の機械的性質

道路橋の塩害対策指針(案)が通達される以前に海岸線から 500m 以内に建設されたコンクリート道路橋は，その約 2 割に塩害劣化が見られ，1980 年代にそれらの多くが補修された。しかし，著しい塩害に対して補修が行われた橋の大半は補修後わずか 10 年以内に再劣化が見られた。架け替えの事例は徐々に増えつつあるが，架け替えに要する費用や迂回路の確保などを考慮すると，塩害劣化を受けた橋の多くは再補修し，さらに長期間にわたって供用せざるを得ないのが現状である[1)]。これらの橋の中にはプレストレストコンクリート橋（ＰＣ橋）も多く含まれており，ＰＣ構造物の要であるＰＣ鋼材までもが腐食により断面欠損しているものも見られる。このような塩害を受けたＰＣ橋であっても，安全性が確保でき，かつ維持管理の負担が小さい範囲で，できるだけ長く供用していく必要がある。そのためには，まずＰＣ鋼材の一部が腐食しているＰＣ桁の破壊までの挙動や残存耐力の評価法を把握しておくことが重要である。しかし，これまで実験データは皆無であったことから，実務の上で耐荷力を評価するには便宜的に既往の設計手法の延長で推定するしか方法がなかった。これらの点を改善するため，コンクリート研究室では，著しい塩害を受けて撤去された橋から腐食したＰＣ桁を入手し，その載荷試験および解体調査を行っている[2)3)]。その中にＰＣ鋼材の伸び性能の低下により低い靭性で終局に至った桁があった[2)]。この塩害ＰＣ桁から採取したＰＣ鋼材は，見た目の腐食の程度が小さくても伸び能力が著しく低下していた。

1.2　ＰＣ鋼材の機械的性質と腐食

(1)　ＰＣ鋼材の機械的性質

ＰＣ橋の緊張材として使用されるＰＣ鋼材は，引張強さが 1700～1900N/mm^2 程度の高張力鋼が用いられる。弾性係数はより線の場合にやや低い傾向にあるが，健全なＰＣ鋼材は概ね 200kN/mm^2 程度で通常はこれと大きく異ならない。ＰＣ鋼材の伸びは，JIS において例えばφ5mm の素線で 4%以上(突合せ伸び)が必要とされている。実際に供給されているものの材料試験データは 5～8%以上の伸びを有している。ＰＣ部材に用いるＰＣ鋼材は，ＰＣ部材の曲げ終局時の靭性を確保するため，所要の伸び性能が要求される。一般に個々の設計ではＰＣ部材の伸び性能が数値として現れることはないが，概ね 2～3%の均一伸び(最大荷重時の伸び(突合せ伸びの 50～60%程度と言われる))が確保されている[4)]。

(2)　ＰＣ鋼材の耐食性

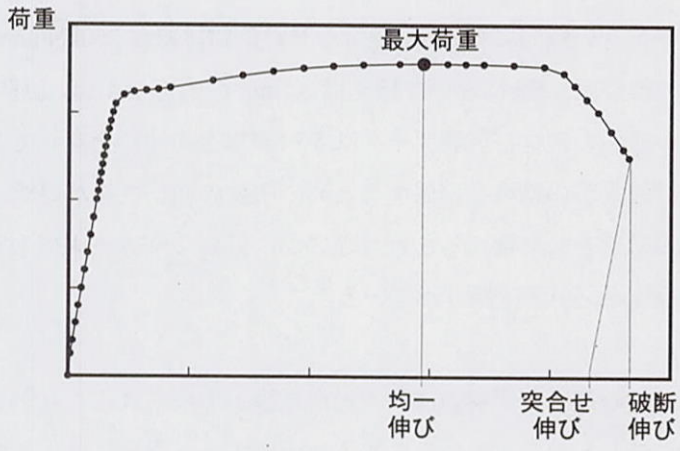
コンクリート中はアルカリ性が高く，鋼材表面に不動態被膜が形成されることから，一般には鉄筋やＰＣ鋼材が腐食しにくい環境である。しかし，外部から塩化物が侵入した場合には，そのような環境下においても鋼材腐食を引き起こす。張力が作用している場合，腐食発生後の腐食速度は無応力下のものよりも早い傾向にある[5)]。しかし，張力の程度が腐食発生限界塩分量に及ぼす影響は明らかにされていない。これまでの塩害を受けた PC 橋の解体調査によると，ＰＣ鋼材の腐食発生限界塩分量は普通鋼材と顕著な差が見られなかった[3)]。

(3) 腐食が機械的性質に及ぼす影響

腐食した鉄筋やＰＣ鋼材の引張試験の事例として，電食や塩水噴霧等による促進試験で腐食させたＰＣ鋼材の引張試験[5-7]，既設構造物の解体調査時に採取したＰＣ鋼材の材料試験[8]，暴露試験後のコンクリート供試体から採取したＰＣ鋼材の引張試験[5)9)]等の報告がある。これらの文献では，鉄筋やＰＣ鋼材が腐食すると強度が低下するとともに，著しい伸び能力の低下が見られていた。特にＰＣ部材の適度な靭性を確保するためにＰＣ鋼材の伸びは重要であるが，腐食したＰＣ鋼材についての実験データはまだ少なく，腐食の程度と伸び低下の関係やその原因については，まだ明確であるとは言い難い。

以上を踏まえて，ＰＣ鋼材の腐食形状やその程度が伸び等の機械的性質に及ぼす影響を明らかにするため，日本海沿岸部に 34 年間供用され，著しい塩害により撤去となったポストテンションＰＣ橋から採取したＰＣ鋼材の腐食量調査と引張試験を実施した(シリーズ１)。また，腐食によって伸び性能が低下する原因を明らかにするため，人工的に欠損を設けたＰＣ鋼材の引張試験も実施した(シリーズ２)。本文は，これらの結果をとりまとめるとともに，腐食したＰＣ鋼材の著しい伸び低下の原因を中心に考察を行った。なお，結果の一部は文献 10)，11)に紹介したものである。

伸び低下の原因としては断面減少，孔食による応力集中，腐食に伴う水素脆化等が考えられるが，本文では，水素脆化以外の原因のみでどこまで説明し得るかという視点から検討を行った。また，図－1.2.1 のとおり，鋼材の伸びには均一伸び，破断伸び，突合せ伸びなど，さまざまなものがある。本文では，均一伸びで整理することを基本とし，必要に応じて破断伸び，突合せ伸びについても一部用いる。特に断りがない場合には，均一伸びを「伸び」という。



図－1.2.1　伸びの定義

2．実験方法

2.1 実験の概要

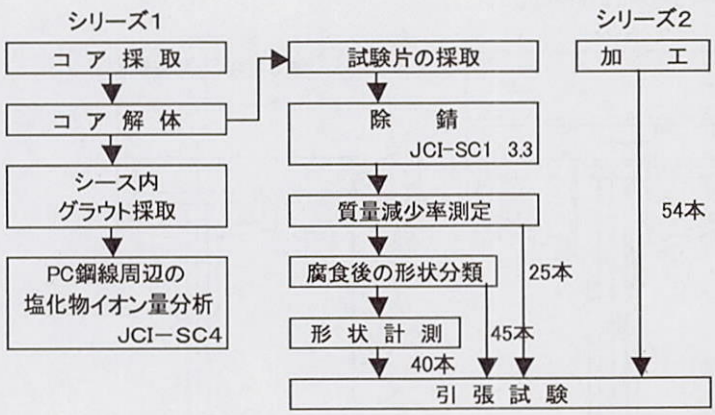
図－2.1.1 にシリーズ１およびシリーズ２の概要を示す。

2.1.1 シリーズ１

入手した塩害を受けたポストテンションＰＣ桁は，同じ桁の中でも箇所によってＰＣ鋼材の腐食の形態・程度が異なっていたので，さまざまな箇所からＰＣ鋼材を採取して，実際に沿岸部で塩害を受けたＰＣ桁中のＰＣ鋼材の腐食の形態・程度について調査を行った。採取した大半の試験片は，まったく腐食していないか，全面的に腐食しているかのいずれかであったことから，腐食面積の測定は行わず，腐食質量減少量および除錆後の表面形状の測定のみとした。ＰＣ鋼材を採取する際，それらの周囲のグラウトに浸透していた塩化物イオン量の測定を行った。その上で，腐食の形態・程度の異なるＰＣ鋼材，計 110 本の引張試験を行い，腐食したＰＣ鋼材の引張強度，弾性係数および破断伸びを測定した。

2.1.2 シリーズ２

シリーズ１の結果より，腐食の程度と伸びの関係が得られるが，腐食したＰＣ鋼材の破断伸び低下の原因は明確にできない。これについて考察を加えるため，人工的に欠損を設けた試験片の引張試験を行い，腐食がない場合のＰＣ鋼材の応力集中と破断伸び低下の関係を調査することとした。



図－2.1.1　実験概要図

2.2 シリーズ１の実験方法

2.2.1 試験片

ＰＣ鋼材の試験片を採取した橋梁は，橋長 144m，５径間で，すべてポストテンションＰＣ単純桁であった [3]。対象とした桁は以下のとおりである。

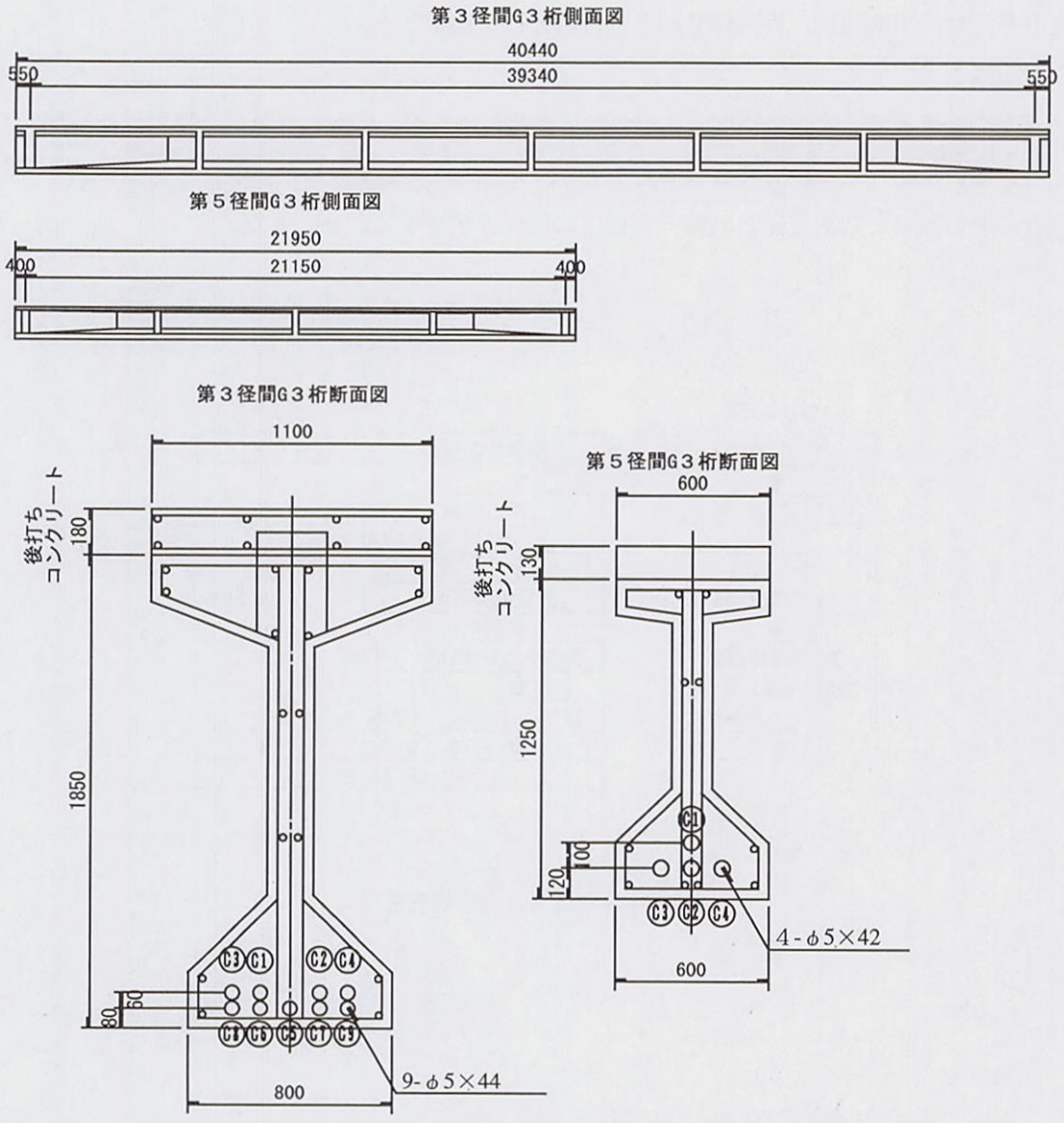
SPAN3：第３径間 G3 桁，G4 桁　腐食ＰＣ鋼材

SPAN5：第５径間 G4 桁　基準ＰＣ鋼材

基準ＰＣ鋼材は腐食が見られなかった SPAN5 の桁端部付近より採取した。主桁の主な諸元を表－2.2.1 に，側面図および断面図を図－2.2.1 に示す。橋梁の一般図を参考資料１に示す。

表－2.2.1 対象桁の主な諸元と供用期間

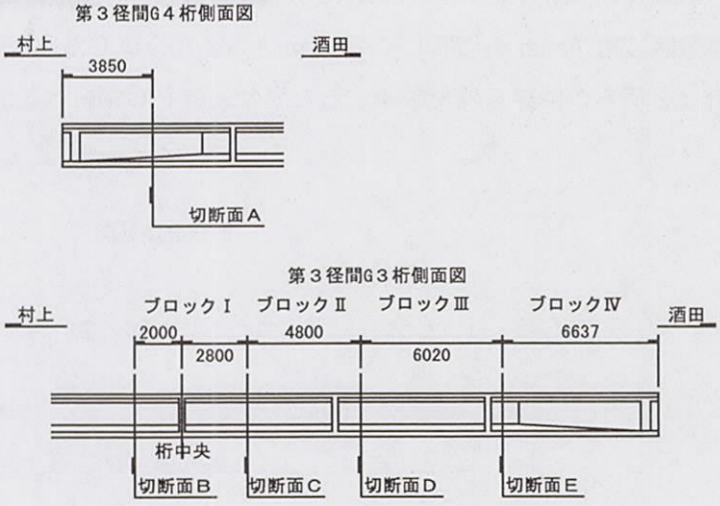
試験体名	SPAN3	SPAN5
橋梁形式	ポストテンションPC単純桁	
	合成I桁	非合成T桁
	6主桁	5主桁
ｺﾝｸﾘｰﾄ設計基準強度	主桁　39MPa (400kgf/cm^2) 床版　29MPa (300kgf/cm^2)	
主要鋼材	BBRV 9-44φ5	BBRV 4-42φ5
PC鋼材の規格	SWPR1　5mm	
引張強度	1620MPa (16500kgf/cm^2)	
初期導入張力	1130MPa (11500kgf/cm^2)	
有効ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ	773MPa	843MPa
竣工年月	1965 年 3 月	
撤去年月	1999 年 8 月	1999 年 6 月



図－2.2.1　ＰＣ鋼材採取桁側面図および断面図（単位：mm）

各主桁は運搬の都合上，いくつかのブロックに切断された。試験採取時に，SPAN3 の G3 桁および G4 桁は図－2.2.2 に示すとおり切断されていた。また，SPAN5 の G3 桁は支間中央付近で２分割された。

図－2.2.3 に採取方法の概要図を示す。ＰＣ鋼材の採取は，切断面から橋軸方向にコアボーリングを行って，シース周辺のコンクリートとともに採取した。採取長は，後に行う形状計測に必要な長さを確保するため，330mm 以上とした。採取したコアの一覧を表－2.2.2 に示す。採取位置の詳細は参考資料１の図－1.4～1.7 に示す。

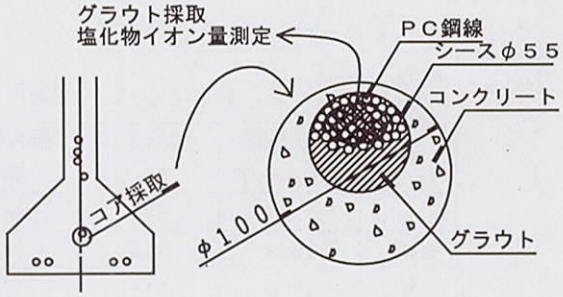


図－2.2.2　SPAN3 切断位置およびブロック割付図
（単位：mm）

表－2.2.2　コア一覧

コアNo.	採取桁	シース番号	最小かぶり(mm)	コアコンクリートのひび割れの程
1	span3	C3	113	なし
2		C4	98	なし
3		C8	63	なし
4		C7	－	大
5		C8	103	大
5-2		C4	－	なし
6-1		C6	99	なし
6-2		C9	78	なし
7-1		C6	－	大
7-2		C3	71	大
8-1		C5	85	小
8-2		C9	76	小
9-1		C2	153	なし
9-2		C1	127	なし
10-1		C2	143	なし
10-2		C1	145	なし
1	span5	C1	241	なし
2		C4	223	なし
3		C2	－	なし
4		C3	124	なし

＊：採取位置は参考資料1参照のこと
ひび割れ　大：2mm程度，　小：0.2mm程度

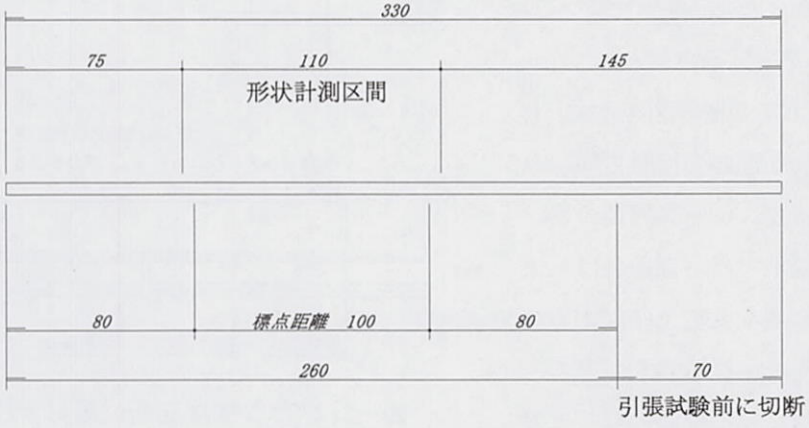


図－2.2.3　試験片の採取方法概要図

なお，試験片名は以下のとおりとした。

S　＊（スパン番号）　N　＊（コアNo.）　N　＊（試験片No.）　○（追加符号　S、T等のｱﾙﾌｧﾍﾞｯﾄ）

試験片の形状寸法を図－2.2.4 に示す。質量減少率測定時および形状計測時の試験片長さは 330mm，引張試験時は約 70mm を切断して 260mm となるようにした。今回の実験では除錆の後，評点外に孔食がある場合など明らかに評点外で破断すると思われるＰＣ鋼材は試験片から除外した。



図－2.2.4　試験片の形状（単位：mm）

腐食していないＰＣ鋼材(基準ＰＣ鋼材)の引張試験結果を表－2.2.3 に示す。基準ＰＣ鋼材は SPAN3，G4 桁の桁端からできるだけ黒皮が残っているものを選出した。いずれも規格を満足しており機械的な性質の低下は見られなかった。

表－2.2.3　基準ＰＣ鋼材引張試験結果

No.	弾性係数 (kN/mm²)	0.2%耐力 (kN)	最大荷重 (kN)	破断荷重 (kN)	均一伸び (%)	破断伸び (%)
1	195.7	32.1	34.5	26.2	5.03	6.92
3	193.4	31.8	34.3	26.3	4.66	7.31
4	196.5	31.4	33.5	24.5	4.26	6.91
平均	195.2	31.8	34.1	25.6	4.65	7.05
規格値	－	27.9 以上	31.9 以上	－	突合せ伸び 4 以上	

2.2.2 除錆

除錆は 10%クエン酸 2 アンモニウム溶液に試験片を浸けて 20 分間，90℃で煮沸した後，鋼材表面に付着している錆をブラシなどでこすって除去した。それでも取れない場合には再度煮沸して除去を行った。

2.2.3 質量減少率の測定

除錆後，ＰＣ鋼材を切断し 330mm とした鋼材の質量を 1mg まで計量し，質量減少率を次式で求めた。ブランク試験の方法および結果は，参考資料３に示す。

$$\text{質量減少率} = (Ws - Wc - Wb) / Ws \times 100\ (\%)$$

ここで，Wc：除錆後の質量　(g)

Ws：腐食前の質量　(g)

ただし，線径 5mm と鋼材実測長から計算で求めた。

線径の実測値は 5±0.02 であったため計算上 5mm とした。

Wb：ブランク値　(g)

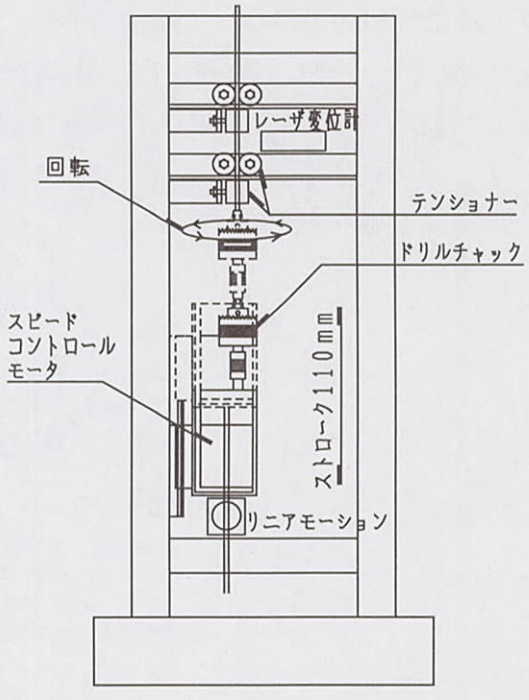
ブランク試験より，除錆時間 20 分でＰＣ鋼材長あたりブランク値は 0.9738 g/m であった。

2.2.4 腐食形状の分類

除錆後のＰＣ鋼材の表面形状に幾つかの特徴が見られた。その特徴を整理した分類表を作成した上で，各試験片を腐食形状で分類した。これについては 3.1.2 で述べる。

2.2.5 除錆後の表面形状の計測

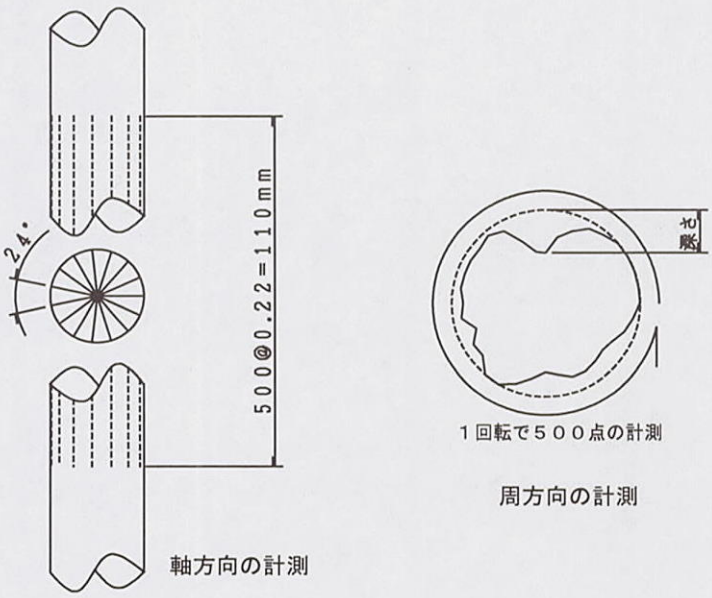
質量減少率を測定したＰＣ鋼材のうち 40 本についてＰＣ鋼材の表面形状を軸方向に計測するとともに，うち 5 本のみ周方向の計測も行った。表面形状の計測は図－2.2.5 に示すレーザ変位計と移動装置を組み合わせた装置を用いて行った。この装置は，鋼材軸方向と周方向の計測ができるようになっている。軸方向の移動はリニアモーションモータで行い，ストロークは約 110mm 確保している。周方向の回転は回転数調節式のスピードコントロールモータで行うものとした。形状の測定には，分解能１μｍのレーザー変位計を使用した。レーザー変位計の上下にはテンショナーを設けて軸，周方向のガイドとし，ＰＣ鋼材のぶれを抑制するようにした。



図－2.2.5　表面形状計測機

図－2.2.6 に計測の概要を示す。軸方向の測定は，24°　ピッチで行いＰＣ鋼材 1 本につき 15 測線の計測を行った。１側線の測定長は 110mm とし，0.22mm ピッチで 500 点の測定を行った。

周方向の測定は，軸方向の測定を行ったＰＣ鋼材のうち，代表的な 5 本について 1 箇所の測定を行った。今回の実験では，モーターの回転数 12rpm に調節して一回転 5sec とし，一回転につき 500 点（0.72°　ピッチ）の測定

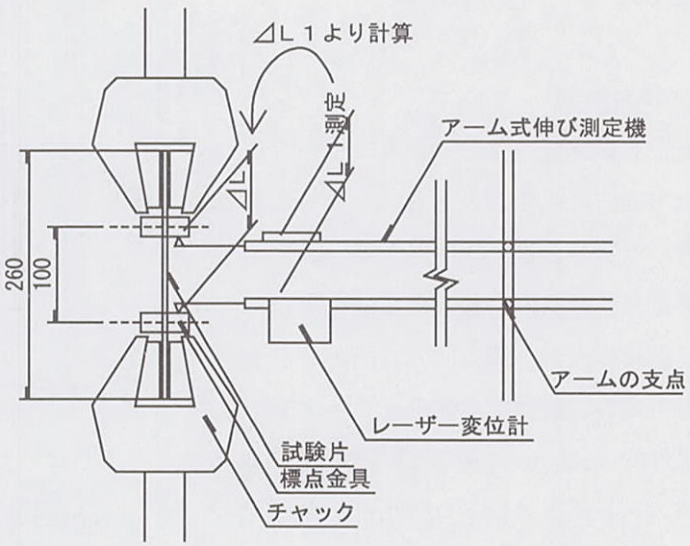


図－2.2.6　表面形状の計測

を行った。

2.2.6 引張試験

形状計測を行った範囲が引張試験の標点間に入るように調節，切断を行った。試験片の寸法は前掲の図－2.2.4 に示す。引張試験は JIS Z 2241 に準じて行った。載荷装置は 250kN 万能試験機を使用した。荷重は試験機のロードセルにより測定した。伸びは，図－2.2.7 に示すように，アーム式の伸び測定器に取り付けたレーザー変位計により計測した。標点間 100mm となるように標点金具を取り付け，標点金具間の変位を破断時まで計測した。なお，除錆後のＰＣ鋼材表面は粗く，適切なひずみゲージの貼付が困難であるため，シリーズ１ではひずみゲージによるひずみの計測は行わなかった。



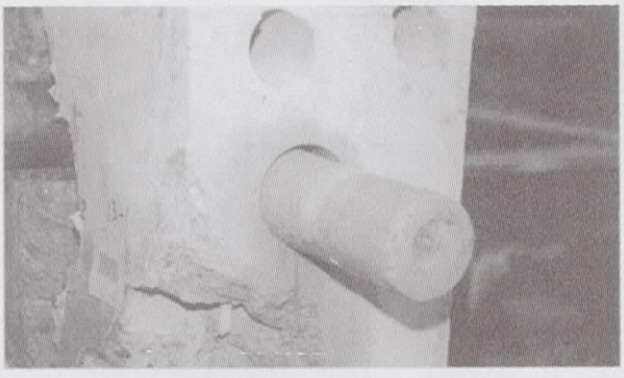
図－2.2.7　伸びの計測方法



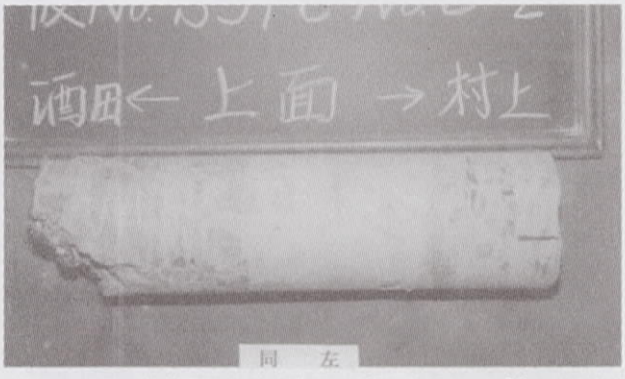
写真－2.1　主桁の状況



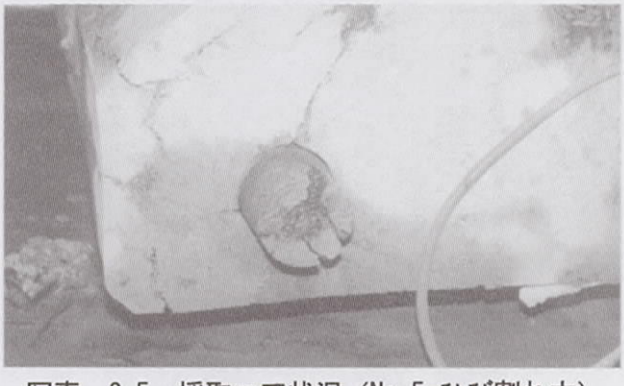
写真－2.2　採取状況



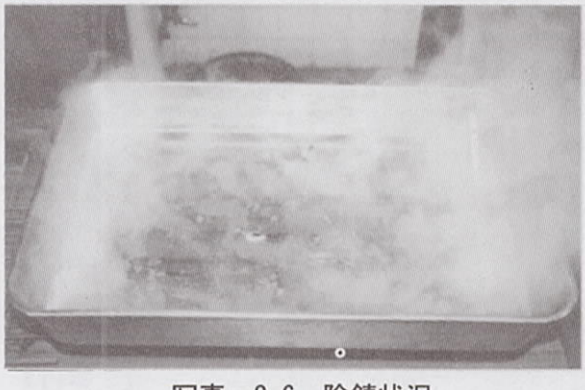
写真－2.3　採取コア状況（健全部）



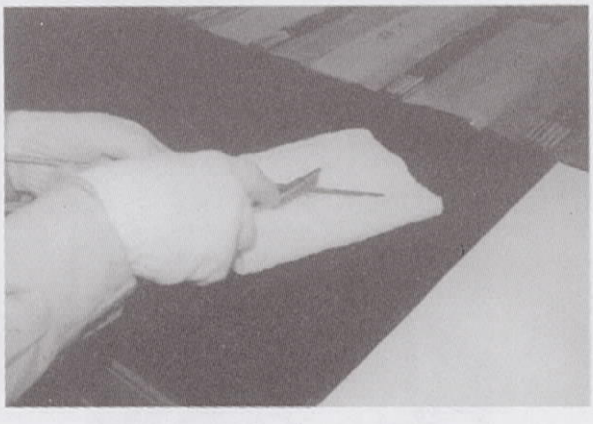
写真－2.4　採取コア状況（Np.6-2，ひび割れ小）



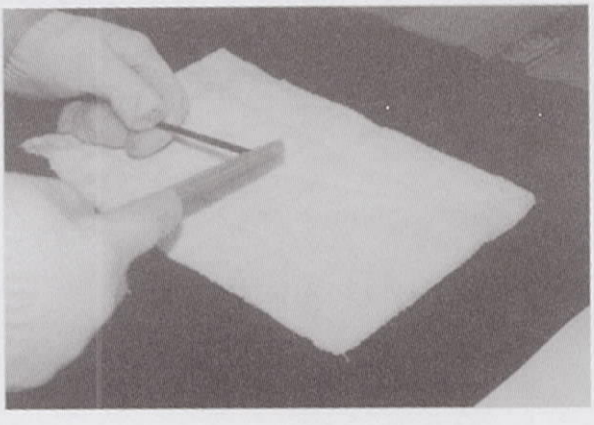
写真－2.5　採取コア状況（No.5，ひび割れ大）



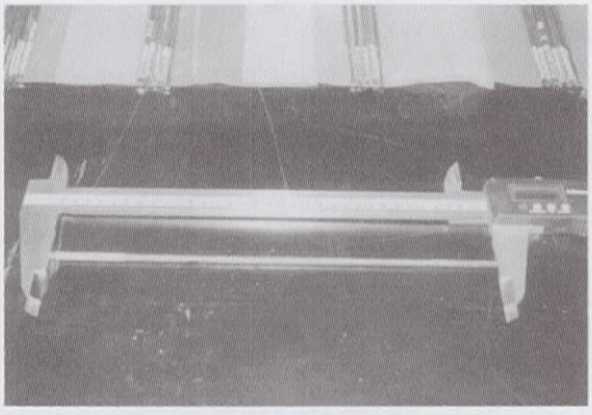
写真－2.6　除錆状況



写真－2.7　ワイヤブラシによる除錆



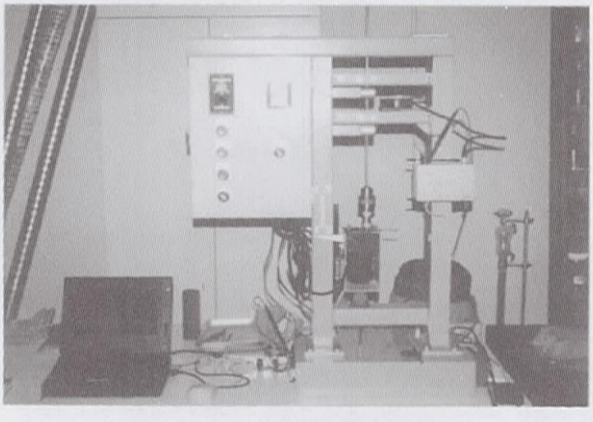
写真－2.8　端面処理状況



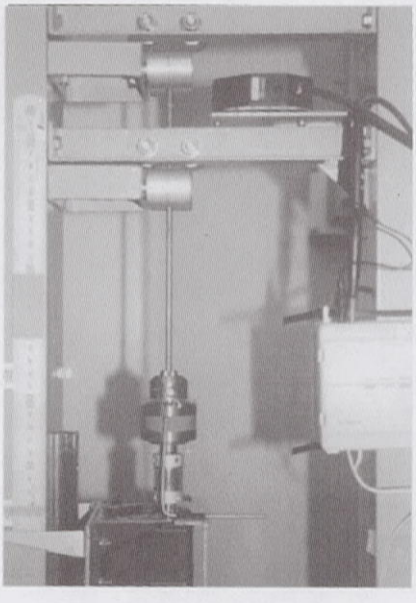
写真－2.9　長さ測定状況



写真－2.10　質量測定状況



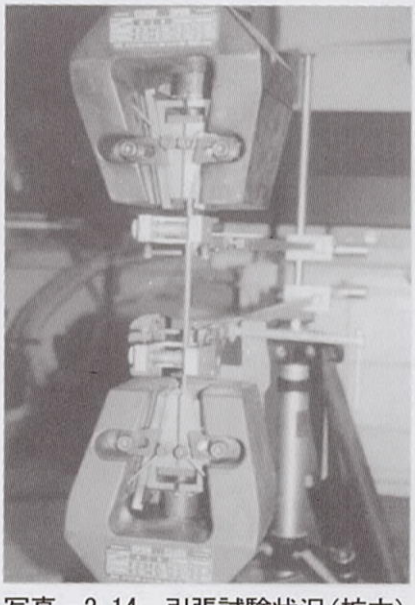
写真－2.11　形状計測機



写真－2.12　形状測定状況



写真－2.13　引張試験状況



写真－2.14　引張試験状況（拡大）

2.3 シリーズ２の実験方法

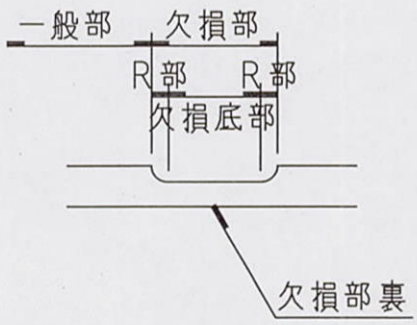
2.3.1 実験計画

ＰＣ鋼材の腐食による伸びの低下の原因としては，断面減少，応力集中，腐食による水素脆化，応力腐食などが考えられる。これらのうち，シリーズ２では腐食していない場合において，人工的に設けた断面欠損部がＰＣ鋼材の断面減少と応力集中が伸びの低下に与える影響を確認することとした。人工的な欠損は，シリーズ１の実験で除錆後のＰＣ鋼材の表面形状に幾つかの特徴が見られたことから，それらの腐食形状を模したものとした。

表－2.3.1 に試験片の概要を示す。ここで，人工欠損を設けたＰＣ鋼材の各部の名称は図－2.3.1 に従って呼ぶこととする。T1 は孔食を模したもので半球状の欠損を設けたものである。欠損の半径を変えて，欠損の大きさが機械的性質に及ぼす影響を見ることとした。T2 は欠損部の長さを T1 より長くし，応力集中の程度を変化させ，応力集中の程度の違いが伸び低下に与える影響を調べることとした。T3 は T1，T2 の欠損部の最小断面と同じ断面が長手方向に連続したもので，標点間で応力集中が生じないようにしたものである。T4 は，ＰＣ鋼材の径がＰＣ鋼材の伸びに及ぼす影響を確認するため，直径を変化させたものである。ＰＣ鋼材の腐食による断面欠損を想定していることから，T1～T4 はすべて同一ロットのφ5mm の鋼材を用いて，機械加工により製作した。

表－2.3.1　試験片の概要

試験片	欠損形状	直径の変更	シリーズ1腐食形状との対応	形状に関するコメント	目的
T1	半球状	－	孔食	欠損部の長さ＝欠損深さとする。	単純な切欠きによる破断伸び低下を確認
T2	部分溝状	－	溝型	最小断面の断面積はT1と同じ。欠損部の長さをT1より長くする。	欠損部の長さの違いによる破断伸び低下を確認
T3	全溝状	－	－	最小断面の断面積はT1と同じ。欠損部の長さ＝鋼線長さとする。応力集中はない。	応力集中がない場合の破断伸びの低下を確認
T4	－	テーパ加工	－	PC鋼線にテーパー加工して線径(直径)を絞る。	直径の減少による断面積の減少と破断伸びの低下の関係を確認



図－2.3.1　人工欠損を設けたＰＣ鋼材の各部の名称

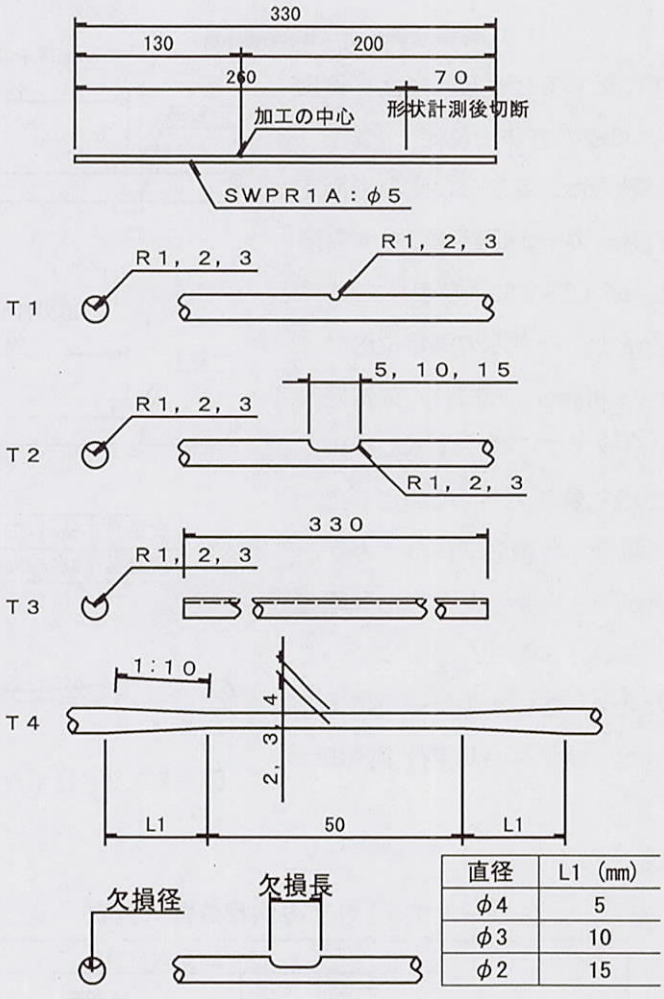
2.3.2 試験片

試験片の種類および形状寸法を図－2.3.2 に示す。試験片の本数は各タイプ 3 本とし，計 54 本の試験片を製作した。試験片名は，「“試験片タイプ”－“欠損径(T4 のときは最小直径)”－“欠損長”－“No.(必要に応じて記述)”」をそれぞれ表す。ここで，欠損径(欠損深さと同じ)と欠損長の定義は図－2.3.2 に示したとおりである。念のため，欠損の深さと欠損長を図－2.2.5 に示した機器を用いて測定した。欠損部分の最小断面積は，欠損の深さ(実測値)と欠損径(仕様)およびＰＣ鋼材直径(実測値)に基づいて計算した。

試験片に用いたＰＣ鋼材は，シリーズ１と同規格と考えられる直径 5mm の SWPR 1 AN である。表－2.3.3 に加工前のＰＣ鋼材の引張試験結果を示す。ＰＣ鋼材の加工は表－2.3.4 に示す機器を用いた機械加工とした。

表－2.3.2　試験片一覧（シリーズ２）

試験片名			欠損径 (mm)	欠損長 (mm)	直径 (mm)	断面積 (mm^2)	偏心量 (mm)	断面2次モーメント (mm^4)
T1	R1	－	1	2	5	18.198	−0.16	24.127
	R2	－	2	4	5	14.436	−0.55	13.002
	R3	－	3	6	5	9.246	−1.09	4.363
T2	R1	L5	1	5	5	18.198	−0.16	24.127
	R2	L5	2	5	5	14.436	−0.55	13.002
	R3	L5	3	6	5	9.246	−1.09	4.363
	R1	L10	1	10	5	18.198	−0.16	24.127
	R2	L10	2	10	5	14.436	−0.55	13.002
	R3	L10	3	10	5	9.246	−1.09	4.363
	R1	L15	1	15	5	18.198	−0.16	24.127
	R2	L15	2	15	5	14.436	−0.55	13.002
	R3	L15	3	15	5	9.246	−1.09	4.363
T3	R1	－	1	全長	5	18.198	−0.16	24.127
	R2	－	2	全長	5	14.436	−0.55	13.002
	R3	－	3	全長	5	9.246	−1.09	4.363
T4	φ4	－	－	－	4	12.566	0.00	12.566
	φ3	－	－	－	3	7.069	0.00	3.976
	φ2	－	－	－	2	3.142	0.00	0.785



直径	L1（mm）
φ4	5
φ3	10
φ2	15

図－2.3.2　試験片形状（シリーズ２）（単位：mm）

表－2.3.3　基準ＰＣ鋼材引張試験結果

No.	弾性係数 (kN/mm^2)	0.2%耐力 (kN)	最大荷重 (kN)	破断荷重 (kN)	均一伸び (%)	破断伸び (%)	突合せ伸び* (%)
1	204.2	32.2	35.5	26.2	5.88	7.59	7.07
2	202.4	32.3	35.6	26.3	5.89	9.30	8.80
3	199.0	31.4	35.6	24.5	5.88	8.28	7.78
平均値	201.9	32.0	35.6	25.6	5.88	8.39	7.88
規格値	－	27.9 以上	31.9 以上	－	－	－	4 以上

*: 未測定，破断伸びから推定。

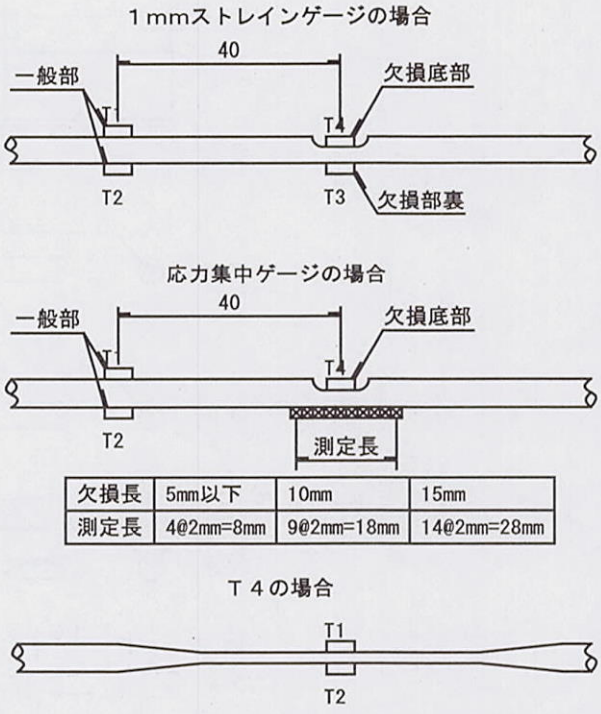
表－2.3.4　ＰＣ鋼材加工に用いた
機械と切削刃の組合せ

試験片名	加工機械	切削刃
T1,T2	冶具フライス	ボールエンドミル（2枚刃）
T3	マシニング センタ	
T4	旋盤	バイト

2.3.3 引張試験

引張試験はJIS Z 2241に準じて行った。また，荷重と伸びは，シリーズ１と同様の方法で測定した。

このシリーズの引張試験では，各部のひずみの測定を1mmのひずみゲージ(メーカーが保証するひずみ限界±3%)を用いて行った。図－2.3.3および表－2.3.5にひずみ測定位置の一覧を示す。ひずみの測定位置は，一般部（加工部の中心から40mmの位置），欠損底部および欠損部裏とした。各タイプ３本中１本については，欠損部裏のひずみを応力集中ゲージで測定した。なお，欠損径が1mmの場合，欠損底部にひずみゲージを適切に張付けることができなかったため，欠陥底部のひずみは測定していない。またT3，T4については応力集中が生じないと考え，応力集中ゲージによるひずみ測定を行わなかった。ひずみの測定位置詳細は参考資料７に示す。



図－2.3.3　ひずみゲージ貼付け位置（単位：mm）

表－2.3.5　ひずみ測定位置一覧表

試験片名			ひずみ測定位置			
			一般部	欠損底部	欠損部裏	
			ひずみゲージ（1mm）			応力集中ゲージ（直列，1mm）
T1	R1	－	○		○	△
	R2	－	○		○	△
	R3	－	○		○	△
T2	R1	L5	○		○	△
	R2	L5	○	○	○	△
	R3	L5	○	○	○	△
	R1	L10	○		○	△
	R2	L10	○	○	○	△
	R3	L10	○	○	○	△
	R1	L15	○		○	△
	R2	L15	○	○	○	△
	R3	L15	○	○	○	△
T3	R1	－	○		○	
	R2	－	○	○	○	
	R3	－	○	○	○	
T4	φ4	－		○※		
	φ3	－		○※		
	φ2	－		○※		

△：3本中1本のみ　　※鋼線径2,3,4mm部に貼付け

3．腐食したＰＣ鋼材の引張試験結果（シリーズ１）

3.1 採取した試験片の腐食状況

3.1.1 採取直後と除錆後の外観

試験片を採取する際，まず外観の腐食の程度の異なるものが混在するように選定した。写真－3.1.1～3.1.6に，腐食の程度によって５種類に分類されたＰＣ鋼材の除錆前後の状況を健全なものと対比して示す。ここで示す健全な鋼材は未使用のものであるが比較のために示した。除錆前の写真では，レベル１～３の判定が容易でないので，写真下にコメントを付した。除錆前の写真で，白色部分は鋼材表面に固着したグラウト材である。除錆後の写真から，腐食の程度に応じて，鋼材表面の凹凸が深く，粗くなり，徐々に断面欠損が大きくなっていることが確認できる。

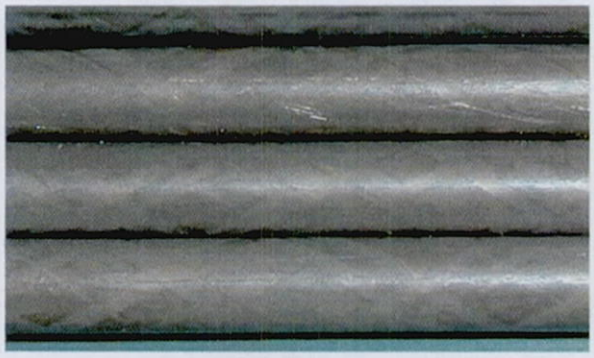
3.1.2 鋼材の腐食形状

除錆後の鋼材の観察の結果，腐食形状にいくつかの傾向があることがわかったので，これらを分類して，表－3.1.1 に示す。全面的な腐食や孔食は一般によく知られている腐食形状である。孔食の一例を写真－3.1.7に示す。目視による腐食の程度がレベル 1～2 程度のＰＣ鋼材は全面的に腐食が生じていたが，レベル 3～4に分類された腐食鋼材の一部はある一面が極端に腐食していた(以下，１面腐食という，写真－3.1.8)。１面腐食に孔食を伴うものも見られた。１面腐食がさらに進行すると，レベル５の写真に見られるようにかなり断面減少が大きい板状の断面になるものと考えられる。また，断面形状としては孔食と同じであるが，孔食が長手方向に溝状に連続したものが見られた(以下，溝型腐食という，写真－3.1.9)。なお，図－3.1.1 に極端な孔食の例を示す。外見上は腐食の程度が軽微であった。孔食周囲の腐食程度はレベル２程度であるにもかかわらず，ごく局所的に深い孔食をもつものであり，かつ鋼材内部で巣のように拡がっていた。

予備実験によれば，コンクリートやモルタルで鋼材を覆わず，NaCl 水溶液中で電食を行った場合，全面的に概ね均等な腐食が生じるだけであったことから，今回の孔食，1 面腐食あるいは溝型腐食は，塩分を含んだコンクリートやモルタルの中で起こり得たものと考えられる。これはコンクリート中のＰＣ鋼材の腐食を扱う上で重要な点である。

表－3.1.1　ＰＣ鋼材断面形状の分類

形状	分類	分　類　基　準
	孔食	一般的に孔の径より孔の深さが大きいものをいうがここでは孔状に見えるものを孔食とした。
	1面	ある1方向から腐食していると思われるもの
	1面＋孔食	上記に孔状の腐食がみられるもの
	溝型	鋼材長手方向に溝状の腐食が認められるもの
	全面	上記以外で全面的に腐食が認められるもの



除錆前



除錆後

写真－3.1.1　　健全(未使用鋼材)



除錆前



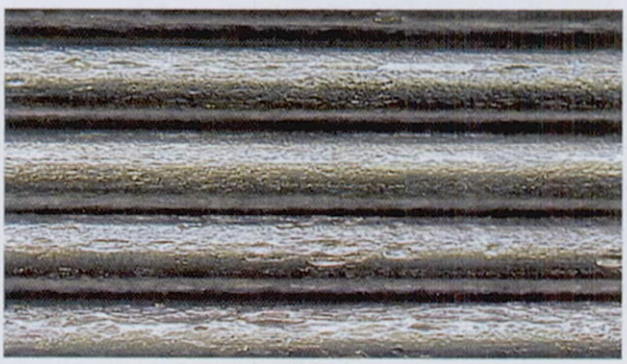
除錆後

写真－3.1.2　　質量減少率１%以下（レベル１）

薄錆が全面にあるがブラシで磨くと地鉄がでる



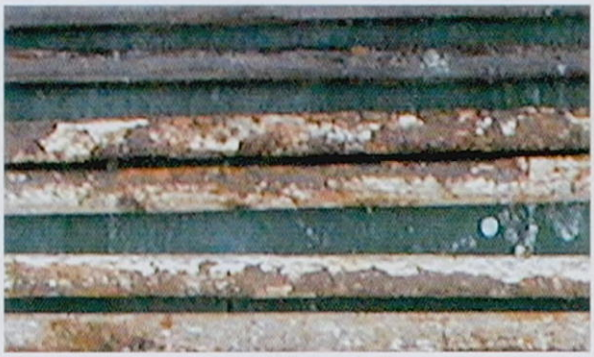
除錆前



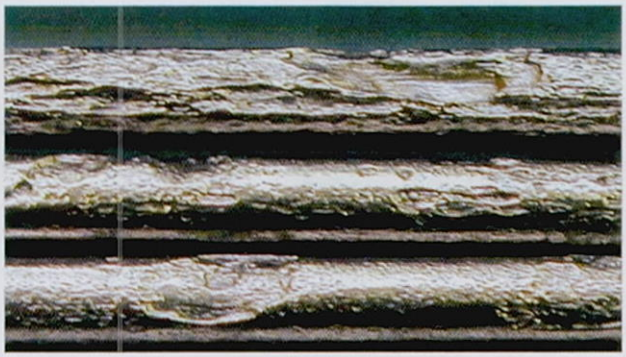
除錆後

写真－3.1.3　　質量減少率２%程度（レベル２）

白いのはグラウト部分。黒皮が残っているため，レベル１よりも軽微に見えるが点状の錆が目立つ。



除錆前



除錆後

写真－3.1.4　　質量減少率７%程度（レベル３）

欠損が目立ってくる。



除錆前



除錆後

写真－3.1.5　　質量減少率 20%程度（レベル４）

部分的に線径が小さくなっているところがある。



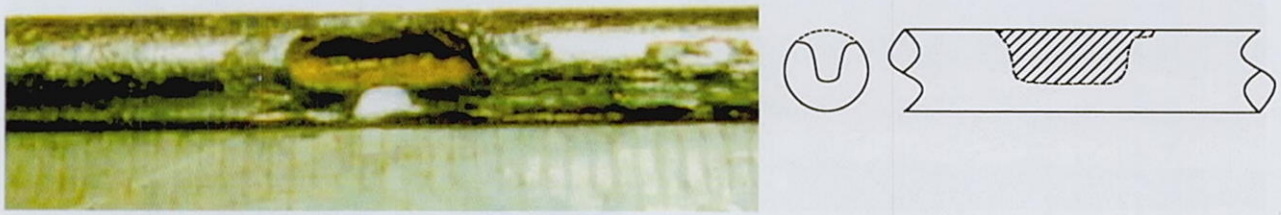
除錆前



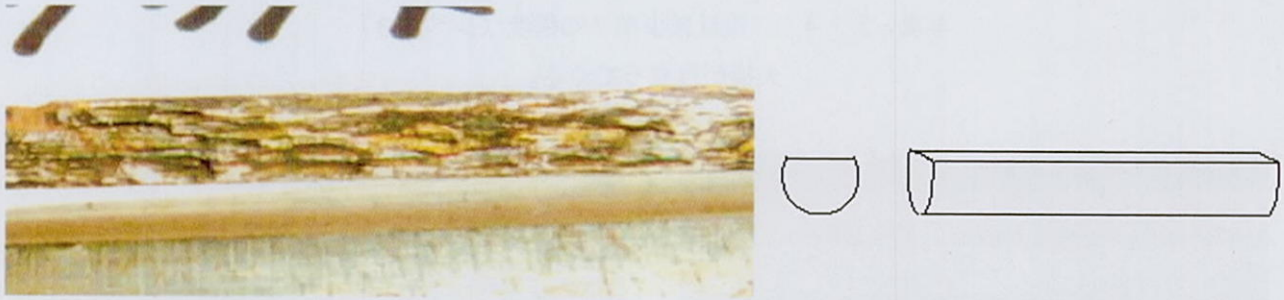
除錆後

写真－3.1.6　　質量減少率 25%以上（レベル５）

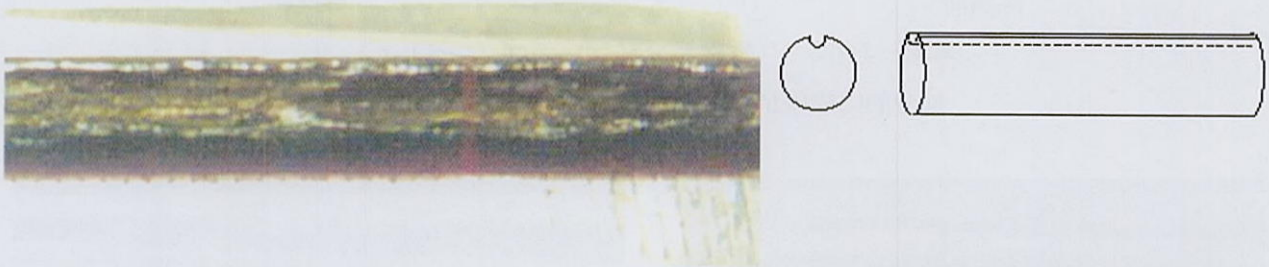
鋼線は全体的に細くなり，さらに部分的に欠損の大きいところがある。



写真－3.1.7　孔食の例



写真－3.1.8　一面腐食の例



写真－3.1.9　溝型腐食の例



図－3.1.1　顕著な孔食の事例

試験片の採取の際にこのような腐食が見られた（本報告の試験片ではない）。
孔食の周囲はほとんど健全で，外観上点錆びが出ている程度に見えたが，
内部でさびが拡がり，ネスト状になっていた。

3.1.3 質量減少量測定結果

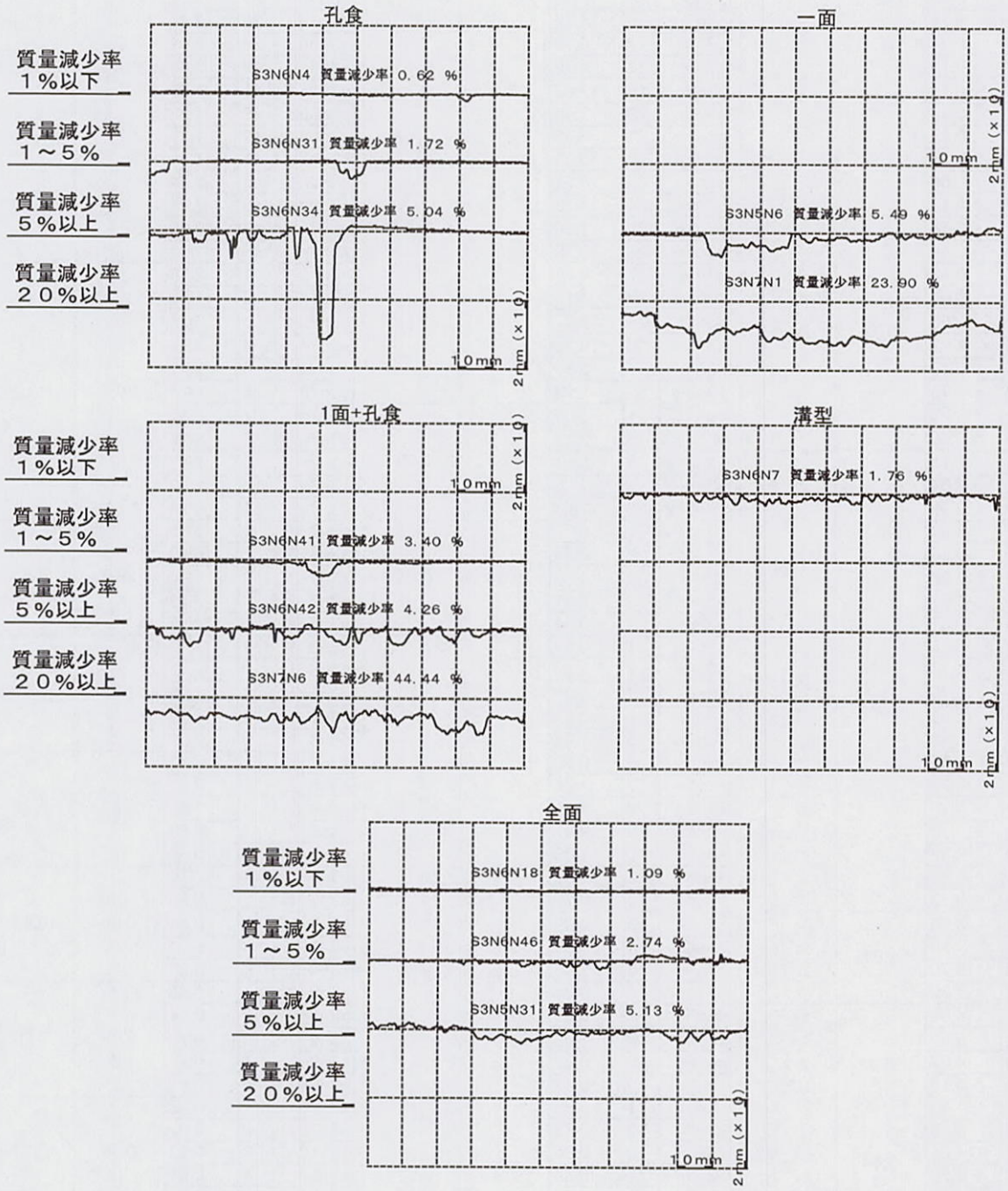
表－3.1.2 に，腐食による質量減少量の測定結果の一覧を示す。基礎データは参考資料４に示す。

表－3.1.2　質量減少率測定結果一覧

No.		質量減少率 (%)	平均質量減少率 (%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量 (cl^-kg/m^3)
s3n1n	1	0.08	0.14	0.38
s3n1n	2	0.29		
s3n1n	3	−0.04		
s3n1n	4	0.10		
s3n1n	5	−0.15		
s3n1n	6	0.36		
s3n1n	7	0.36		
s3n1n	8	0.08		
s3n1n	9	3.66		
s3n1n	10	−3.33		
s3n2n	1	0.78	0.33	0.26
s3n2n	2	0.76		
s3n2n	3	0.13		
s3n2n	4	0.05		
s3n2n	5	0.65		
s3n2n	6	−1.32		
s3n2n	7	0.43		
s3n2n	8	0.75		
s3n2n	9	0.53		
s3n2n	10	0.49		
s3n3n	1	2.14	1.84	1.96
s3n3n	2	2.04		
s3n3n	3	2.09		
s3n3n	4	3.03		
s3n3n	5	0.66		
s3n3n	6	2.08		
s3n3n	7	1.53		
s3n3n	8	2.81		
s3n3n	9	0.26		
s3n3n	10	1.73		
s3n4n	1	5.70	7.61	—
s3n4n	2	11.56		
s3n4n	3	3.88		
s3n4n	4	4.35		
s3n4n	5	8.37		
s3n4n	1t	8.70		
s3n4n	2t	10.72		
s3n4n	3t	2.82		
s3n4n	4t	9.32		
s3n4n	5t	8.79		
s3n5n	1	6.50	9.01	—
s3n5n	2	7.28		
s3n5n	3	19.70		
s3n5n	4	7.30		
s3n5n	1	14.58	9.44	—
s3n5n	2	5.58		
s3n5n	3	4.27		
s3n5n	4	5.18		
s3n5n	5	1.80		
s3n5n	6	5.49		
s3n5n	7	14.01		
s3n5n	8	8.29		
s3n5n	9	8.12		
s3n5n	10	11.49		
s3n5n	11	9.44		
s3n5n	12	6.13		
s3n5n	13	7.09		
s3n5n	14	9.04		
s3n5n	15	8.35	9.44	—
s3n5n	16	14.59		
s3n5n	17	6.78		
s3n5n	18	4.70		
s3n5n	19	12.67		
s3n5n	20	17.49		
s3n5n	21	8.63		
s3n5n	22	10.01		
s3n5n	23	16.31		
s3n5n	24	16.73		
s3n5n	25	11.54		
s3n5n	26	18.79		
s3n5n	27	4.57		
s3n5n	28	2.15		
s3n5n	29	12.87		
s3n5n	30	18.35		
s3n5n	31	5.13		
s3n5n	32	2.03		
s3n5−2	1	21.9	24.8	5.68
s3n5−2	2	25.8		
s3n5−2	3	24.1		
s3n5−2	4	34.0		
s3n5−2	5	18.3		
s3n6−1	1	0.52	0.34	0.24
s3n6−1	2	0.28		
s3n6−1	3	0.38		
s3n6−1	4	0.47		
s3n6−1	5	0.04		
s3n6n	1	3.97	1.99	4.05
s3n6n	2	2.80		
s3n6n	3	1.08		
s3n6n	4	0.62		
s3n6n	5	1.03		
s3n6n	6	0.59		
s3n6n	7	1.76		
s3n6n	8	1.09		
s3n6n	9	3.91		
s3n6n	10	1.08		
s3n6n	11	1.67		
s3n6n	12	0.75		
s3n6n	13	0.99		
s3n6n	14	0.37		
s3n6n	15	2.39		
s3n6n	16	0.96		
s3n6n	17	0.97		
s3n6n	18	1.09		
s3n6n	19	0.27		
s3n6n	20	0.63		
s3n6n	21	0.88		
s3n6n	22	0.75		
s3n6n	23	0.84		
s3n6n	24	0.39		
s3n6n	31	1.72		
s3n6n	32	2.45		
s3n6n	33	3.45		
s3n6n	34	5.04		
s3n6n	35	3.42		
s3n6n	36	2.21		
s3n6n	37	3.10	1.99	4.05
s3n6n	38	3.61		
s3n6n	39	5.88		
s3n6n	40	3.64		
s3n6n	41	3.40		
s3n6n	42	4.26		
s3n6n	43	1.19		
s3n6n	44	1.91		
s3n6n	45	2.74		
s3n6n	46	2.74		
s3n6n	47	2.90		
s3n6n	48	1.17		
s3n7n	1	23.9	29.1	10.3
s3n7n	2	16.9		
s3n7n	3	30.4		
s3n7n	4	35.9		
s3n7n	5	30.1		
s3n7n	6	44.4		
s3n7n	7	20.0		
s3n7n	8	34.2		
s3n7n	9	28.7		
s3n7n	10	25.3		
s3n7n	11	30.4		
s3n7−2	1	51.5	38.8	9.40
s3n7−2	2	48.8		
s3n7−2	3	12.6		
s3n7−2	4	38.2		
s3n7−2	5	42.7		
s3n8−1	1	1.10	1.55	2.36
s3n8−1	2	1.12		
s3n8−1	3	2.05		
s3n8−1	4	1.38		
s3n8−1	5	2.09		
s3n8−2	1	0.48	0.67	0.21
s3n8−2	2	0.51		
s3n8−2	3	1.03		
s3n8−2	4	0.85		
s3n8−2	5	0.46		
s3n9−1	1	0.74	0.69	0.17
s3n9−1	2	0.68		
s3n9−1	3	0.46		
s3n9−1	4	0.70		
s3n9−1	5	0.85		
s3n9−2	1	0.83	0.79	0.20
s3n9−2	2	0.64		
s3n9−2	3	0.72		
s3n9−2	4	0.87		
s3n9−2	5	0.91		
s3n10−1	1	0.38	0.59	0.21
s3n10−1	2	0.52		
s3n10−1	3	0.92		
s3n10−1	4	0.41		
s3n10−1	5	0.74		
s3n10−2	1	0.37	0.76	0.25
s3n10−2	2	0.47		
s3n10−2	3	1.02		
s3n10−2	4	0.94		
s3n10−2	5	1.01		

3.1.4 除錆後の表面形状計測の結果

図－3.1.2 に腐食形状ごとの形状計測結果の例を示す。腐食形状計測の全結果は参考資料７に示す。ここで，図には腐食形状間の比較をするときの参考として質量減少率の程度に応じてＰＣ鋼材の形状計測結果を選んだ。グラフ中に結果がないものは形状計測を行ったＰＣ鋼材の中に該当するものがなかったためである。い

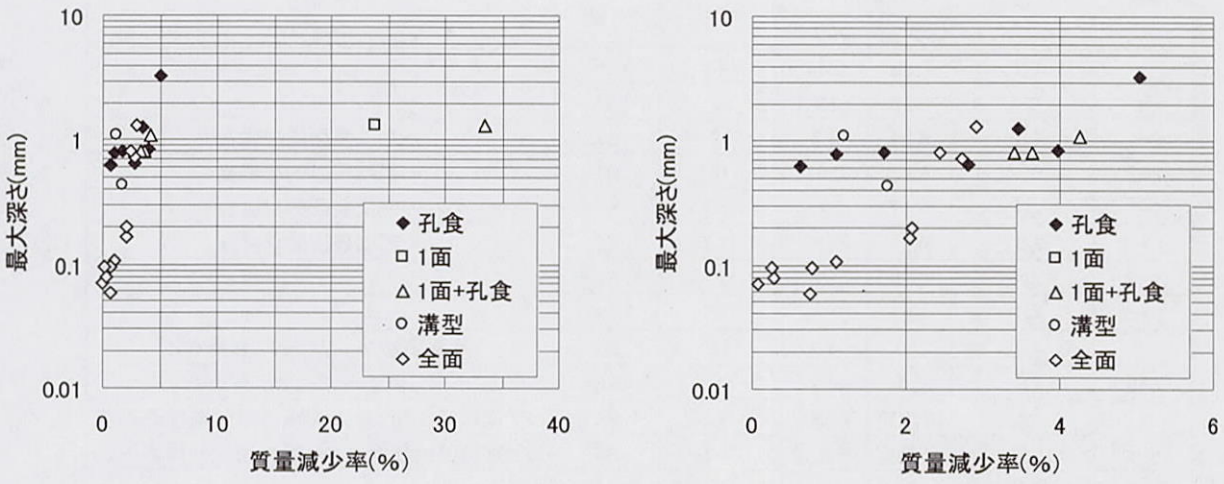


図－3.1.2　形状測定結果（横：×１，縦：×１０）

ずれも，1本のＰＣ鋼材で測定した長手方向15側線のうち最も表面形状が粗かったものを示した。また，腐食による断面欠損とは逆に凸の部分が見られるが，これはＰＣ鋼材がもともと有していた十数ｃｍピッチの微小なそりによるものである。

これらの図より孔食の表面形状は，他の腐食形状と比べて明らかに異なることがわかる。S3N6N34の結果を見ると，腐食の最大深さは，同程度の腐食による質量減少率のS3N5N6，S3N6N42，S3N5N31よりも顕著に大きいことがわかる。一方，他の腐食形状の表面の粗さは，顕著な違いが見られなかった。「一面＋孔食」の場合，「孔食」の場合よりも周囲の表面粗さの差が明確でなかった。

図－3.1.3に質量減少率と最大欠損深さの関係を示す。この図を見ると質量減少率が大きくなるに従って最大欠損深さは増加し，質量減少率5%程度までに1mm程度になった。孔食の場合，他の形状のものより低い質量減少率で最大欠損深さが大きい傾向が見られた。質量減少率 5%以上のＰＣ鋼材については，測定データが少ないが，質量減少率24%で1面のもの1本と同34%で1面+孔食のもの1本があった。この2本の最大欠損深さは1.4mm程度であった。形状計測を行った40本中の最大欠損深さの最大値は約3.2mmであった。この鋼材は前掲の写真－3.1.7に示したものであり，著しい孔食が生じていた。



(a) 全データ　　(b) 質量減少率6%未満のデータ

図－3.1.3　質量減少率と最大欠損深さの関係

3.2 試験片の周囲の環境

3.2.1 試験片の周囲の塩化物イオン量

表－3.2.1 に試験片周囲の塩化物イオン量を示す。グラウトの塩化物イオン量はシース断面内の平均値である。このとき、グラウトの密度は予備調査の結果より 2g/cm^3 とした。また，そのシース外部のコンクリート中の塩化物イオン量測定に用いた試料はシースの真上付近から採取した。桁端部で外部からの塩化物イオンの侵入がないと考えられるかぶり 14cm 以上のコア No.9-1,No.10-1，No.10-2 の結果より，建設当初よりグラウトおよびコンクリート中に含有していた初期塩化物イオン量はそれぞれ 0.17～0.25kg/m^3 程度および 0.07～0.13kg/m^3 程度であったと考えられる。採取元の構造物が置かれていた環境とこれらの初期塩化物イオン量のデータから，各試験片の腐食はすべてコンクリート表面から浸透した塩化物イオンを主因とする塩害劣化によるものであることが確認できた [3)]。塩化物イオン量が特に多かったコアは，その内部のＰＣ鋼材の腐食による膨張ひび割れが発生していた。なお，小さいひび割れが生じていたものは，周囲のＰＣ鋼材の腐食による膨張ひび割れの影響を受けていた可能性があり，そのコア内部のＰＣ鋼材の腐食によるものかどうかは断定できなかった。

表-3.2.1　試験片周囲の塩化物イオン量とシースの腐食状況

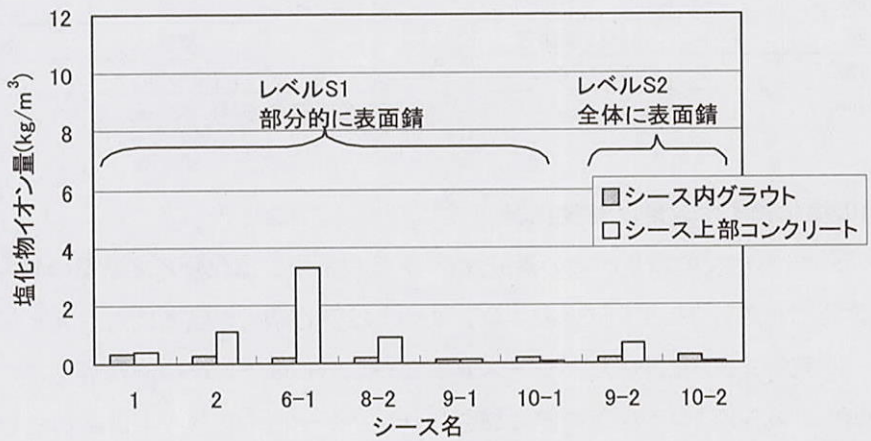
コア No.	コアのひびわれ状況	塩化物イオン量 (Kg/m^3)		最短純かぶり (mm)	シースの腐食レベル	シースの状況
		グラウト	コンクリート			
1	なし	0.33	0.44	113	S1	
2	なし	0.26	1.1	98	S1	
6-1	なし	0.24	3.3	99	S1	一部に表面的な腐食
8-2	小	0.21	0.67	76	S1	一部に表面的な腐食
9-1	なし	0.17	0.13	153	S1	一部に表面的な腐食
10-1	なし	0.21	0.10	143	S1	一部に表面的な腐食
9-2	なし	0.20	0.67	127	S2	
10-2	なし	0.25	0.069	145	S2	
3	なし	2.0	4.7	63	S3	かぶり側の一部に錆，欠損有り
6-2	なし	4.1	4.8	78	S3	かぶり側の一部に錆，欠損有り
4	大	未測定	未測定	－	S4	コア採取時に粉々になり塩分用試料採取不能
5-1	大	未測定	未測定	103	S4	コア採取時に粉々になり塩分用試料採取不能
5-2	大 補修済み	5.7	3.1	－	S4	
7-1	大	10.3	8.0	－	S4	
7-2	大	9.4	4.2	71	S4	
8-1	小	2.4	1.5	85	S4	

表－3.2.2　シースの腐食レベル

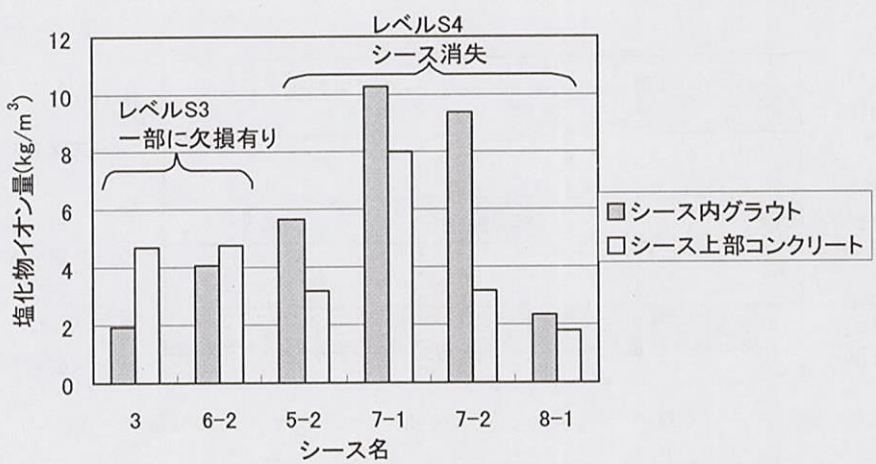
レベル	腐食状態
－	腐食なし
S1	点錆程度の表面的な腐食
S2	全体的に表面的な腐食
S3	シースの一部に欠損等がある腐食
S4	シースの消失等著しい腐食

3.2.2 シースの腐食状況

試験片の周囲の環境を把握するための補足として，表－3.2.1 では，試験片周囲のシースの腐食状況も示した。表中のシースの腐食レベルは表－3.2.2 によった。シースの腐食レベルとシース内外の塩化物イオン量の関係を図－3.2.1 および図－3.2.2 に示す。シースの腐食レベルが S1～S2 でシース表面に腐食が生じていてもシースの断面欠損がない場合には，シース周囲のコンクリート中の塩化物イオン量が大きくても，グラウト中の塩化物イオン量は小さかった。特に，No.6-1 でこの傾向が顕著に見られる。一方，シースに欠損があるレベル S3～S4 の場合には，シース内のグラウトの塩化物イオン量が周囲のコンクリートとほぼ同程度かそれ以上のものが多く見られた。これらの結果より，外部から浸透した塩化物イオンは，シースの周囲に 1.2kg/m^3 以上存在していても，シースに断面欠損が生じていないとシース内に塩化物イオンが侵入しにくい状況にあったことがわかる。なお，No.6-1 の場合は，コンクリートの塩化物イオン量が 3.3kg/m^3 に達していたにもかかわらず，シースの腐食は軽微であったが，その他の事例では，シースの周囲の塩化物イオン量が約 2kg/m^3 を超えるとシースに何らかの断面欠損が生じ，グラウト中にも塩化物イオンが浸透していた。



図－3.2.1　シース内外塩化物イオン量比較　レベル１～３



図－3.2.2　シース内外塩化物イオン量比較　レベル４，５

コア No.6-1 および No.6-2 では，ある断面内の塩化物イオンの分布をみるため，断面の上下左右などから試料を採取し，塩化物イオン量を測定した。表－3.2.3 および表－3.2.4 に，それぞれのコアの測定結果を示す。今回の結果では，外部からの塩分の浸透がなかったと考えられる No.6-1 で 0.09～0.24kg/m^3，外部からの塩分の浸透があったと考えられる No.6-2 で 3.2～4.1 kg/m^3 であり，それぞれのシース内でのばらつきは小さかった。

表－3.2.3　シース 6-1 内外の塩化物イオン量

試料	採取位置	シースの腐食レベル	塩化物イオン量 (kg/m^3)
ｺﾝｸﾘｰﾄ	上部	S1	3.3
	右部	S2	3.4
	下部	S1	2.7
	左部	－	未測定
ｸﾞﾗｳﾄ	上部	S1	0.18
	右部	S2	0.21
	下部	S1	0.085
	左部	－	未測定
	中心部	－	0.24

シースかぶり：99mm

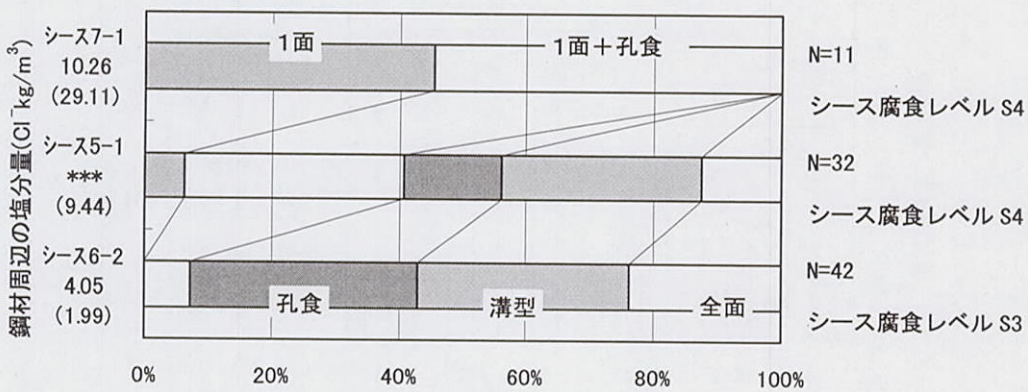
表－3.2.4　シース 6-2 内外の塩化物イオン量

試料	採取位置	シースの腐食レベル	塩化物イオン量 (kg/m^3)
ｺﾝｸﾘｰﾄ	上部	S3	4.8
	右部	S2	0.84
	下部	S2	未測定
	左部	S4	6.2
ｸﾞﾗｳﾄ	上部	S3	3.2
	右部	S2	3.8
	下部	S2	未測定
	左部	S4	3.7
	中心部	－	4.1

シースかぶり：78mm

3.2.3　鋼材周辺の塩化物イオン量と腐食状況

図－3.2.3 に，あるシース内での腐食形状の構成比を，グラウト中の塩化物イオン量の異なる No.5-1, No.6-2, No.7-1 について示す。No.7-1，No.5-1 付近のコンクリートはＰＣ鋼材の腐食により大きなひび割れが生じており，シースは一部消失していた。また，シース 6-2 は，0.2mm 以下のひび割れが生じており，シースには一部欠損が見られた。No.5-1 はコア採取の際に周囲のコンクリートやグラウトが壊れてそれぞれの破片の元の位置が明確でない状況となったため，塩化物イオン量は測定していないが，ＰＣ鋼材の質量減少率から推察すると，概ね No.7-1 と No.6-2 の間の塩分環境にあったものと考えられる。



注：( )内は平均質量減少率を示す。
***は未計測

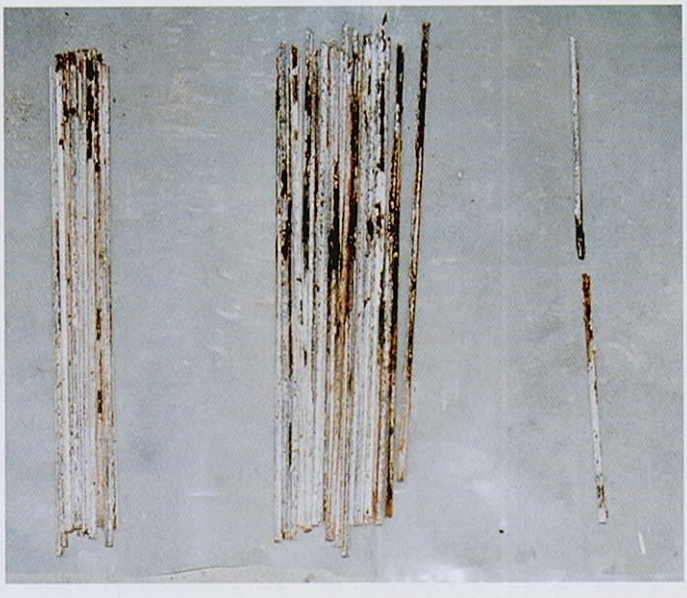
図－3.2.3　腐食形状の分布



写真－3.2.1　シース 6-2 腐食状況
最小かぶり方向の腐食の著しい部分。最小かぶりは 65mm。
この部分のコンクリート中の塩化物イオン量は 6.2kg/m^3



写真－3.2.2　シース 6-2　シース欠損部の拡大
部分的にシースが腐食し，内部のグラウトが見えている。
右側のシース欠損部には PC 鋼材が見えている。



写真－3.2.3　シース 6-2 シース分解後ＰＣ鋼材の状況
黒い部分は腐食が著しい部分。44 本中 1 本は破断していた。

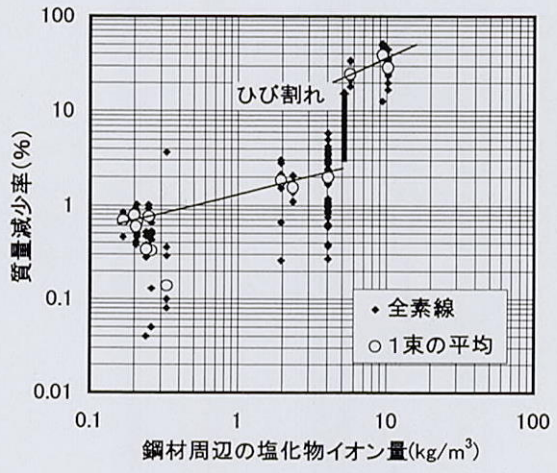
鋼材周辺のグラウトに侵入した塩化物イオン量が 4kg/m^3 程度のときには孔食や溝型の腐食が多く見られたが，塩化物イオン量が多くなるにつれて，一面腐食が多く見られるようになっていた。コンクリートのひび割れが生じていた No.5-1 や No.7-1 では，ひびわれ面に近いＰＣ鋼材(44 本の束になっていたため，同じシース内でもひび割れに近いものとそうでないものが混在していた)に外部からの腐食因子が多量に供給されていたものと考えられ，これが一面腐食の形成に寄与していたものと推察される。

図－3.2.4 に鋼材周辺の塩化物イオン量と試験片の質量減少率の関係を示す。図中，黒丸は個々の素線の質量減少率を，白丸はシース内の平均質量減少率を示す。塩化物イオン量は 1 シースの平均値であり，個々の素線ごとの塩化物イオン量は不明である。個々のシースによって質量減少率を測定した本数は 4～42 本と大きく異なっている。なお，前掲の写真－3.1.1～3.1.6 に外観上の腐食ランクごとの質量減少率を示した。

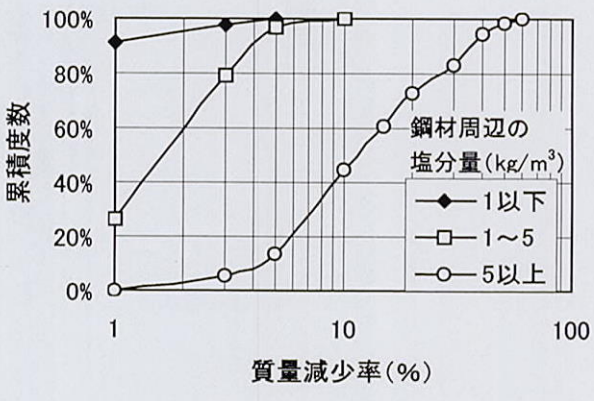
各素線で見ると試験片の質量減少率と塩化物イオン量の関係はばらつきが大きい。しかし，シース毎の平均質量減少率でみると，両者の間にある程度の相関が見られ，鋼材周囲の塩化物イオン量が多くなるに従い質量減少率も大きくなっていた。塩化物イオン量 1kg/m^3 以下で質量減少率１％以下のものは，ほとんど発錆していないかごく表面的な錆のもの(前掲，腐食レベル１～２程度)であった。コンクリートにひび割れが生じていた場合には，周囲の塩化物イオン量も大きい傾向にあり，質量減少率が急激に増加していた。

図－3.2.5 に，あるシース内における各鋼材の質量減少率の分布を，鋼材周囲の塩化物イオン量で分類して示す。塩化物イオン量が 1kg/m^3 以下の場合には全素線の約 90%が質量減少率 1%以下であった。塩化物イオン量が多くなると，質量減少率も大きく増えており，塩化物イオン量が 5kg/m^3 以上の場合には全素線の約 50%が質量減少率 10%以上であった。

これらの結果より，シース内の平均質量減少率は，グラウト中の平均塩化物イオン量に応じて増加するが，あるシース内における個々の素線の質量減少率はある程度のひろがりを持っていることがわかった。



図－3.2.4　塩化物イオン量と質量減少率の関係



図－3.2.5　塩化物イオン量別質量減少率の分布

3.3　引張試験結果

3.3.1 引張試験結果一覧

表－3.3.1 に，腐食ＰＣ鋼材の引張試験結果の一覧を示す。基礎データは参考資料 5 に示す。

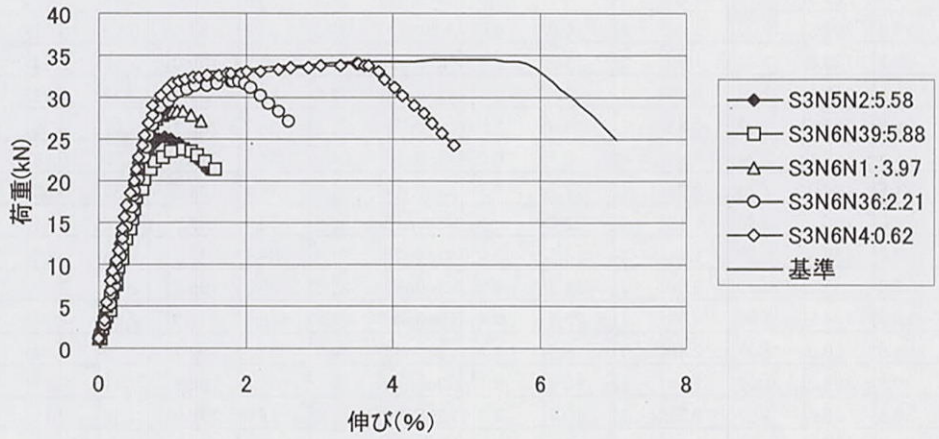
表－3.3.1　腐食ＰＣ鋼材の引張試験結果一覧

試験片名	0.2%耐力 (kN)	最大荷重 (kN)	弾性係数 (kN/mm^2)	均一伸び (%)	破断点伸び (%)	腐食形状	断面減少率 (%)	質量減少率 (%)	試験片名	0.2%耐力 (kN)	最大荷重 (kN)	弾性係数 (kN/mm^2)	均一伸び (%)	破断点伸び (%)	腐食形状	断面減少率 (%)	質量減少率 (%)
s3n5n1	25.3	25.6	177.2	1.15	1.76	1	24.9	14.6	s3n5n25	27.1	27.3	159.6	1.27	1.72	4	19.8	11.5
s3n5n2	25.0	25.2	168.4	0.90	1.34	1	26.2	5.6	s3n5n27	29.4	30.7	197.4	2.16	3.12	4	9.9	4.6
s3n5n3	31.4	32.2	185.3	1.47	2.46	1	5.5	4.3	s3n5n28	32.3	33.5	182.5	2.32	3.27	4	1.6	2.2
s3n5n5	30.4	31.1	201.5	1.18	1.83	1	8.7	1.8	s3n6n7	31.3	33.4	183.4	3.42	3.80	4	1.9	1.8
s3n6n1	28.0	28.4	202.3	1.07	1.24	1	16.8	4.0	s3n6n8	32.3	33.9	187.6	3.52	4.71	4	0.6	1.1
s3n6n2	29.1	30.2	185.6	1.39	1.69	1	11.5	2.8	s3n6n9	30.0	32.2	189.0	2.82	3.54	4	5.7	3.9
s3n6n4	31.3	33.9	210.3	3.54	4.69	1	0.5	0.6	s3n6n11	31.4	33.7	201.4	3.38	4.68	4	1.2	1.7
s3n6n5	28.9	29.3	210.5	1.03	0.98	1	14.0	1.0	s3n6n12	31.4	33.7	206.8	3.17	4.25	4	1.2	0.8
s3n6n6	31.1	34.4	192.1	3.74	4.88	1	−0.8	0.6	s3n6n13	31.2	34.1	210.6	4.50	5.98	4	0.1	1.0
s3n6n31	30.6	31.5	194.0	1.39	2.04	1	7.7	1.7	s3n6n14	31.3	34.4	204.5	5.59	7.60	4	−0.8	0.4
s3n6n32	25.9	26.0	188.1	0.98	1.13	1	23.8	2.5	s3n6n15	30.9	32.9	197.7	2.55	2.41	4	3.5	2.4
s3n6n33	28.5	29.6	196.3	1.43	1.71	1	13.1	5.0	s3n6n16	31.4	34.1	205.8	3.66	4.69	4	0.0	1.0
s3n6n34		9.8		0.30	0.30	1	71.3	3.5	s3n6n17	31.5	33.6	196.3	2.43	2.37	4	1.6	1.0
s3n6n35	25.5	25.5	184.5	1.00	1.49	1	25.3	3.4	s3n6n43	31.3	33.1	211.5	2.24	2.14	4	3.0	1.2
s3n6n36	30.6	31.8	188.0	1.82	2.46	1	6.6	2.2	s3n6n44	30.7	32.3	192.2	1.79	2.44	4	5.2	1.9
s3n6n37	29.1	30.6	203.7	1.97	2.65	1	10.4	3.1	s3n6n45	30.1	31.3	198.8	1.44	2.11	4	8.1	2.7
s3n6n38	28.7	30.4	195.2	1.57	2.32	1	10.9	3.6	s3n5n29	25.4	27.0	159.9	1.86	2.71	5	20.8	12.9
s3n6n39	23.2	23.7	167.1	1.14	1.45	1	30.5	5.9	s3n5n30	21.5	21.6	114.6	1.25	1.91	5	36.6	18.4
s3n5n6	27.9	29.0	160.2	1.47	2.27	2	15.1	5.5	s3n5n31	30.0	31.5	169.5	2.80	3.80	5	7.8	5.1
s3s5n7	23.2	24.2	160.7	1.45	1.92	2	29.0	14.0	s3n6n18	31.6	34.6	202.6	4.85	6.37	5	−1.6	1.1
s3n7n1	22.3	22.4	156.9	1.04	1.55	2	34.2	23.9	s3n6n19	32.4	34.9	192.6	5.28	7.30	5	−2.3	0.3
s3n7n2		27.6	183.1	0.87	0.78	2	18.9	16.9	s3n6n20	31.3	34.2	197.5	5.52	7.35	5	−0.2	0.6
s3n7n3	18.6	19.4	121.0	1.49	2.14	2	43.1	30.4	s3n6n46	29.2	30.7	185.3	1.89	2.87	5	10.0	2.7
s3n7n4	16.5	16.5	115.8	1.00	1.58	2	51.5	35.9	s3n6n47	30.5	31.3	192.9	1.20	1.17	5	8.2	2.9
s3n7n5		19.7	135.5	0.76	0.60	2	42.2	30.1	s3n6n48	31.0	33.2	172.5	3.45	4.50	5	2.5	1.2
s3n5n12	29.3	29.7	174.5	1.18	1.28	3	12.9	6.1	s3n1n1	31.2	34.4	212.2	4.60	6.56		−0.8	0.1
s3n5n13	29.4	30.8	186.8	1.58	2.41	3	9.7	7.1	s3n1n2	31.3	33.8	201.3	4.15	6.23		0.8	0.3
s3n5n15	27.7	28.7	182.7	1.65	2.19	3	15.9	8.4	s3n1n3	32.2	34.2	197.6	4.79	6.97		−0.2	0.0
s3n5n18	29.9	31.1	185.7	1.96	3.06	3	8.8	4.7	s3n2n1	30.3	32.7	201.7	4.63	6.78		4.2	0.8
s3n6n40	27.0	27.6	193.6	1.17	1.43	3	19.1	3.6	s3n2n2	30.4	32.7	199.7	4.39	6.43		4.1	0.8
s3n6n41	27.8	28.0	193.0	0.94	0.87	3	18.0	3.4	s3n3n2	29.7	32.4	190.7	4.69	6.51		4.9	2.0
s3n6n42	28.6	29.7	206.8	1.43	1.69	3	12.9	4.3	s3s3n6	29.5	31.7	201.2	3.56	4.88		7.0	2.1
s3n7n6	21.8	22.7	138.1	1.48	1.91	3	33.6	44.4	s3n3n9	30.8	33.1	190.3	5.53	7.05		3.1	0.3
s3n7n7	26.7	26.8	148.7	1.15	1.02	3	21.5	20.0	s3n4n1	27.9	29.2	180.4	1.83	2.43		14.3	5.7
s3n7n8		6.3	90.0	0.35	0.35	3	81.6	34.2	s3n4n2	23.9	23.9	175.9	0.89	1.07		30.0	11.6
s3n7n9	19.5	20.7	125.6	1.71	2.12	3	39.3	28.7	s3n4n5	24.7	24.9	186.0	0.99	1.28		27.0	8.4
s3n7n10	18.2	18.4	131.2	0.92	0.92	3	46.0	25.3	s3n4n1t	25.0	25.0	174.5	0.93	1.71		26.6	8.7
s3n7n11		10.7	132.1	0.53	0.50	3	68.7	30.4	s3n4n3t	30.0	30.9	211.4	1.34	2.02		9.3	2.8
s3n5n20	24.1	25.5	152.3	1.76	2.29	4	25.3	17.5	s3n4n5t	25.9	27.4	173.2	1.89	2.76		19.5	8.8
s3n5n21	27.1	27.4	196.4	1.09	1.50	4	19.7	8.6	s3n5n1s	28.5	29.4	182.4	1.43	2.31		13.8	6.5
s3n5n22	25.9	26.5	177.6	1.27	1.49	4	22.2	10.0	s3n5n2s	24.9	24.9	181.2	0.94	1.60		27.1	7.3
s3n5n24	24.6	24.9	152.6	1.24	1.99	4	27.0	16.7									

3.3.2　腐食したＰＣ鋼材の荷重伸び曲線

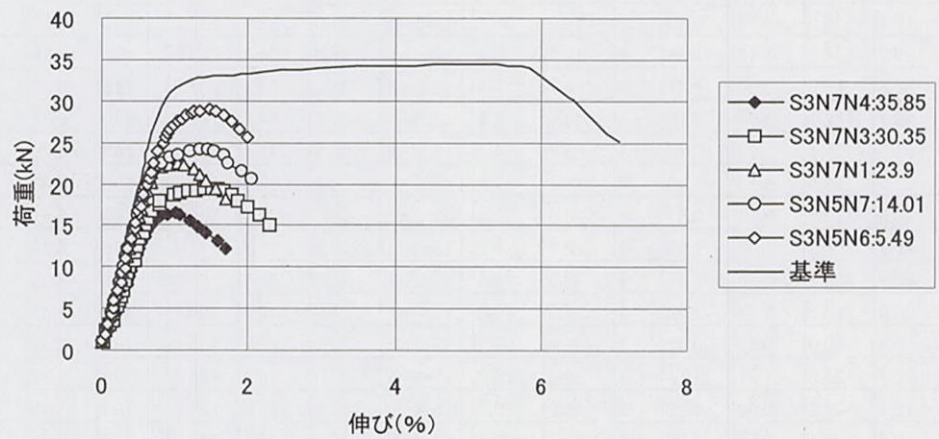
図－3.3.1～3.3.5 に各腐食形状別，質量減少率別の荷重伸び曲線の例を示す。凡例には試験片名と質量減少率を併記した。図中の基準としている曲線は，腐食のない基準ＰＣ鋼材の結果である。

質量減少率が 2%以上の場合，質量減少率が大きくなるに従い最大荷重が低下していた。基準ＰＣ鋼材と比較して，伸びの低下の程度は，概して最大荷重の低下の程度よりも著しい傾向が見られた。質量減少率が2%以下のＰＣ鋼材の荷重伸び曲線は，基準ＰＣ鋼材と弾性限界にあまり変化がなく，最大荷重を記録するまでは基準ＰＣ鋼材と同じ軌跡であった。一面腐食および一面腐食＋孔食の場合，腐食による質量減少率が大きいため，この傾向は確認できなかった。



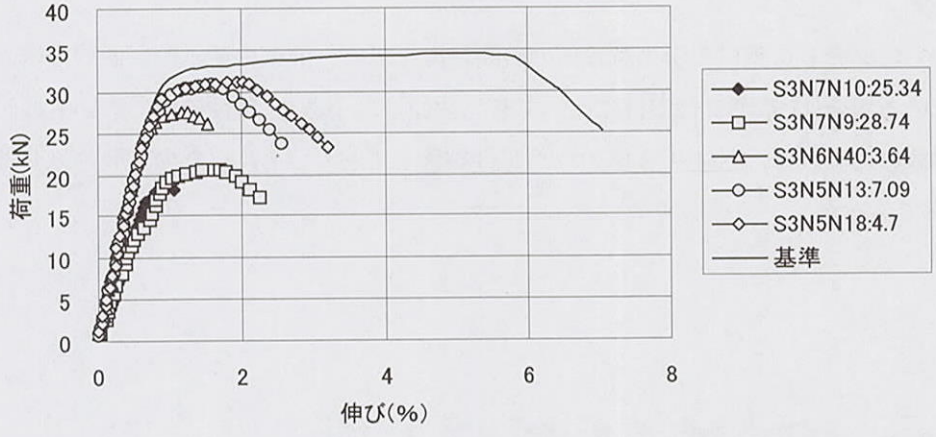
注）凡例中の数値は質量減少率（%）

図－3.3.1　孔食の荷重伸び曲線



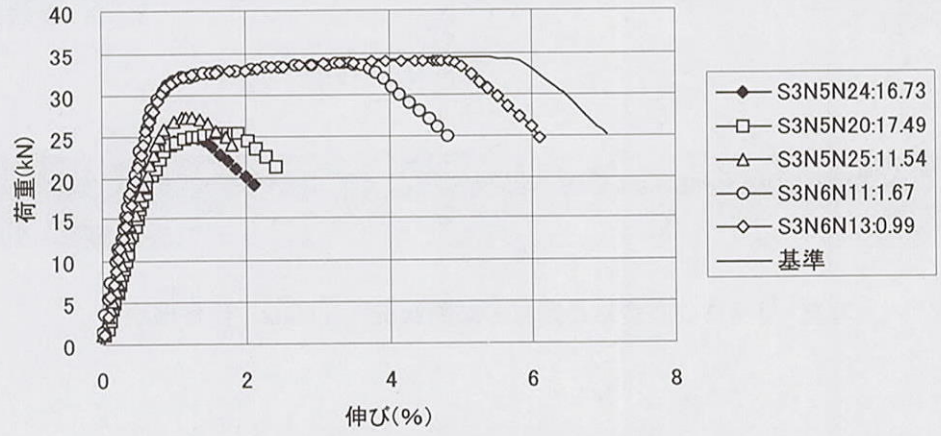
注）凡例中の数値は質量減少率（%）

図－3.3.2　一面の荷重伸び曲線



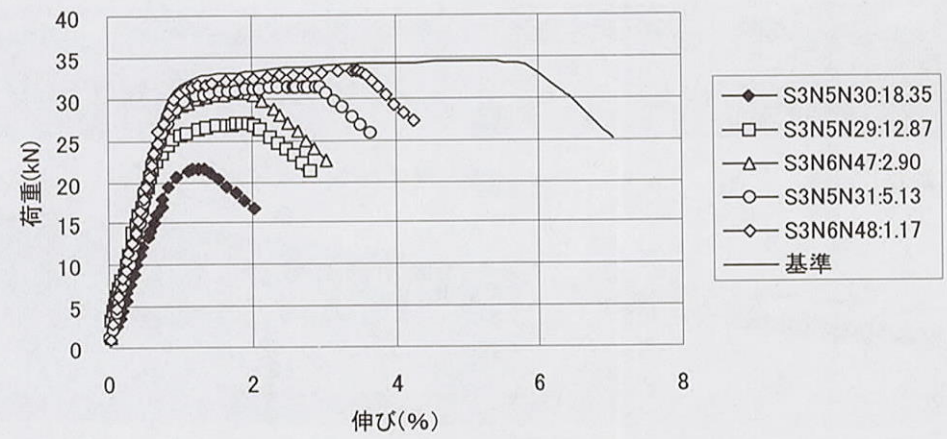
注）凡例中の数値は質量減少率（%）

図－3.3.3　一面+孔食の荷重伸び曲線



注）凡例中の数値は質量減少率（%）

図－3.3.4 溝型の荷重伸び曲線

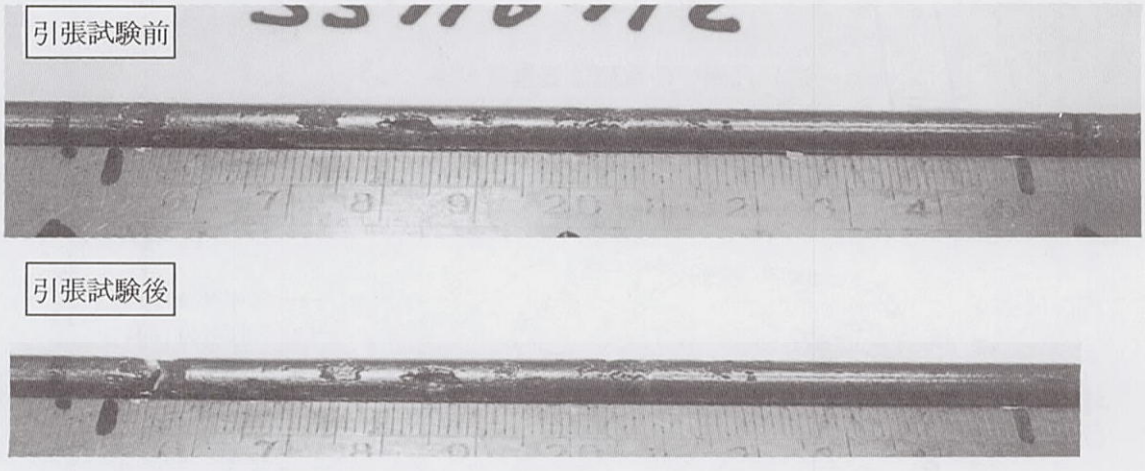


注）凡例中の数値は質量減少率（%）

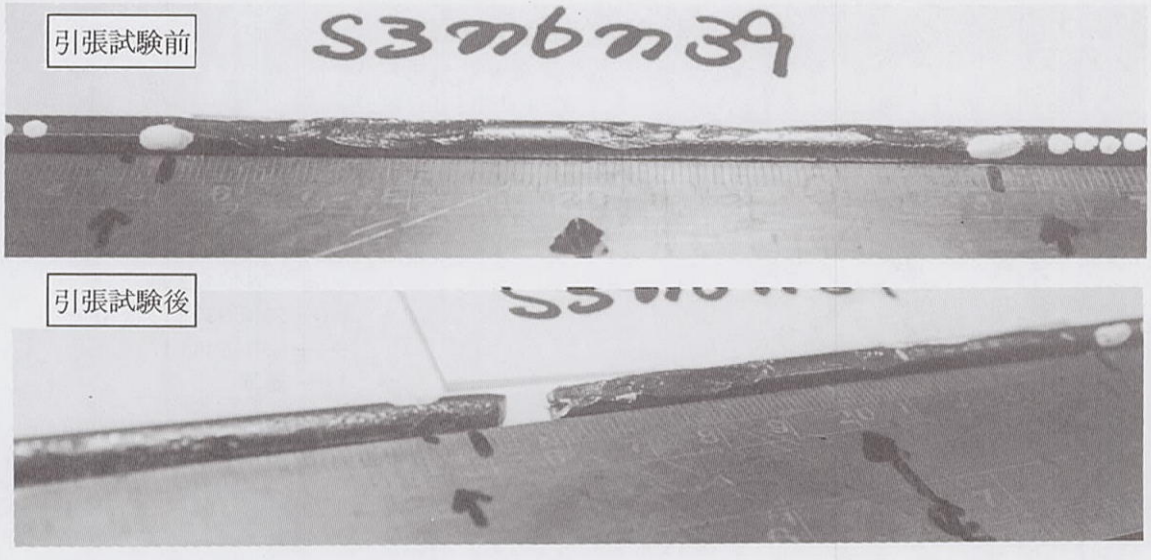
図－3.3.5　全面の荷重伸び曲線

3.3.3　破断状況

写真－3.3.1～3 に腐食ＰＣ鋼材の引張試験後の破断状況を示す。前項の荷重伸び曲線の例の中にも，著しい腐食が生じている場合に，基準ＰＣ鋼材に比べて著しく伸びが小さく，脆性破壊に近いものが見られたが，破断箇所の目視観察によれば，83 本中 3 本のみが脆性破壊しており，それ以外の試験片はしぼりが明確に見られる延性破壊であった。

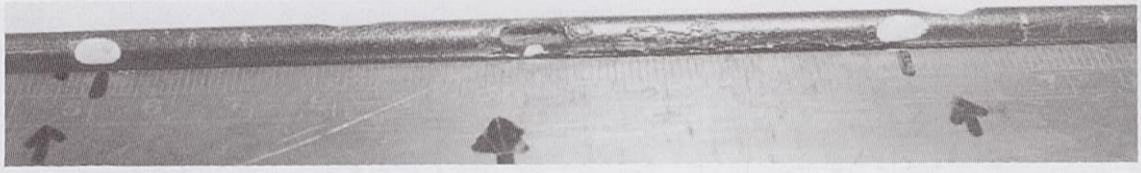


写真－3.3.1　腐食ＰＣ鋼材の破断状況（s3n6n2，延性破壊）



写真－3.3.2　腐食ＰＣ鋼材の破断状況（s3n6n39，延性破壊）

引張試験前



引張試験後



写真－3.3.3　腐食ＰＣ鋼材の破断状況（s3n6n34，脆性破壊）

引張試験前

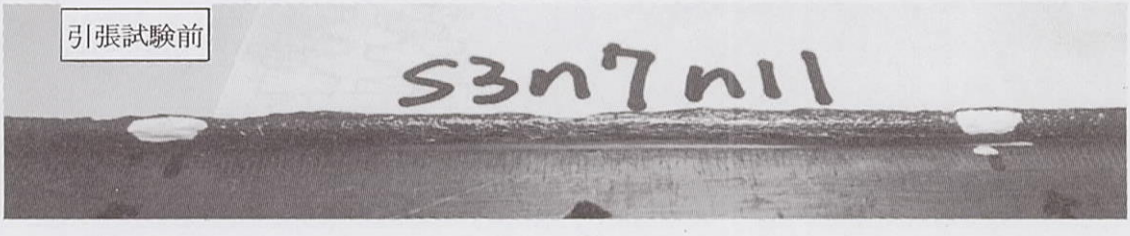


引張試験後

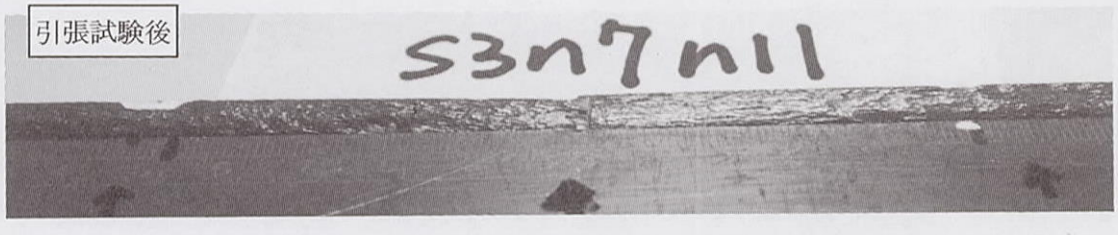


写真－3.3.4　腐食ＰＣ鋼材の破断状況（s3n7n8，脆性破壊）

引張試験前



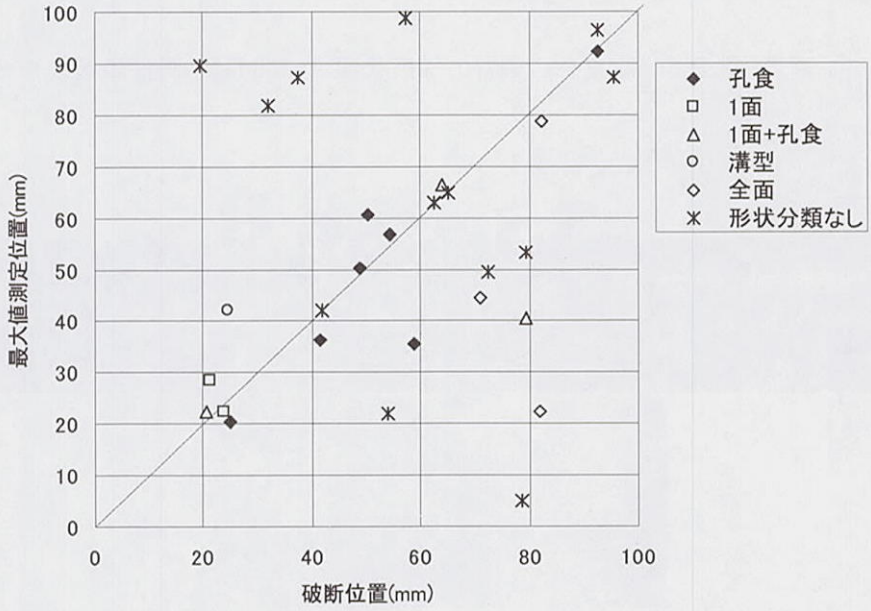
引張試験後



写真－3.3.5　腐食ＰＣ鋼材の破断状況（s3n7n11，脆性破壊）

3.3.4　破断位置

腐食ＰＣ鋼材の試験片選定にあたっては，標点外に孔食がある場合など明らかに標点外で破断すると思われるＰＣ鋼材は除外したため，多くの場合は標点内で破断した。引張試験を行ったＰＣ鋼材のうち除錆後の形状計測を行った 31 本について，図－3.3.6 に形状計測で確認された最大腐食深さの位置(最大値測定位置)と破断位置を示す。最大値測定位置は，試験片の軸方向に測定した 15 測線のデータを用いて，いくつかの大きいピーク値を付録資料６に示すとおり整理した上で，その中から選定した。孔食の場合に，最大値計測位置と破断位置が概ね一致する傾向にある。なお，形状分類なしとされた鋼材の多くは全面腐食に近く，比較的軽微な腐食のものが多かった。

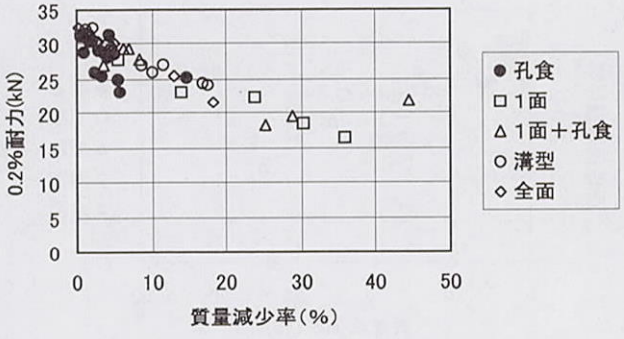


図－3.3.6　最大値計測位置と破断位置の関係

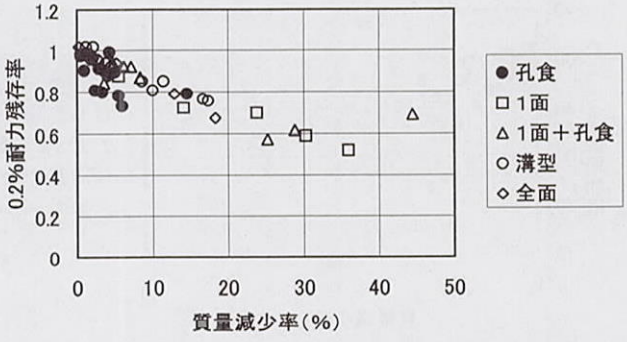
3.3.5　質量減少率と機械的性質

(1) 0.2%耐力

質量減少率と 0.2%耐力(0.2%永久伸びに対する荷重)の関係を図－3.3.7 に，質量減少率と 0.2%耐力残存率の関係を図－3.3.8 に示す。0.2%耐力残存率は，腐食ＰＣ鋼材の実測値を健全な基準ＰＣ鋼材の実測値で除したものである。質量減少率と 0.2%耐力の間には線形関係が認められ，たとえば質量減少率が 10%程度で 20%程度の 0.2%耐力の低下が生じていた。



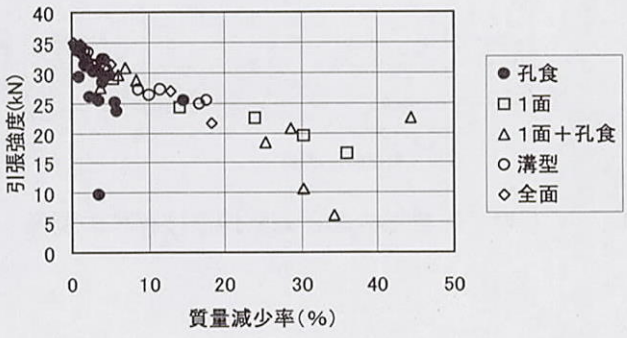
図－3.3.7　質量減少率と 0.2%耐力の関係



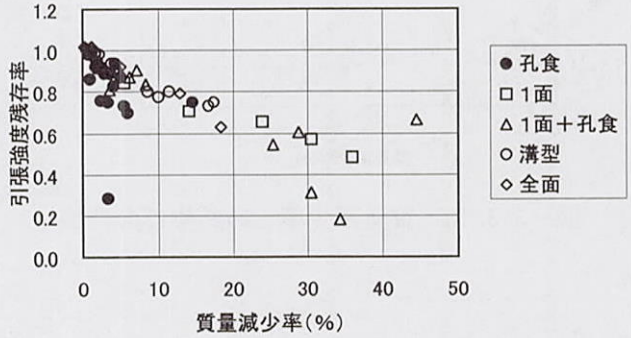
図－3.3.8　質量減少率と 0.2%耐力残存率の関係

(2) 引張強度

0.2%耐力と同様に，質量減少率と引張強度(最大荷重)の関係を図－3.3.9 および図－3.3.10 に示す。孔食の場合を除くと，質量減少率と引張強度の間に線形関係が認められ，質量減少率が 10%程度で 20%程度の引張強度の低下が見られた。孔食の試験片は，他の試験片に比べて，質量減少量が小さいにもかかわらず引張強度残存率が大きい傾向があった。そのうち，1 本は特に著しい引張強度の低下が見られた。これは，質量減少率は試験片の平均断面減少率を表すものであり，孔食のような部分的な欠損部の最小断面減少率と大きく異なっていることに起因していると考えられる。



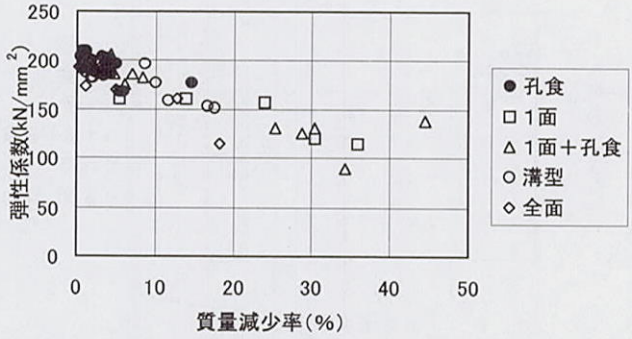
図－3.3.9 質量減少率と引張強度の関係



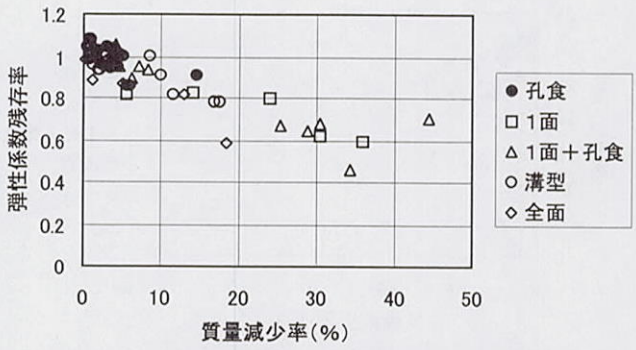
図－3.3.10 質量減少率と引張強度残存率の関係

(3) 弾性係数

前項と同様に，質量減少率と弾性係数の関係を図－3.3.11 および図－3.3.12 に示す。ここでは煩雑さを避けるため，腐食ＰＣ鋼材の弾性係数は，腐食前の断面積で求めた応力度と伸びひずみとの関係から得られた見かけの弾性係数である。この見かけの弾性係数は，腐食形状にかかわらず質量減少率と比例関係にあり，質量減少率 10%で約 10%の低下が見られたことになるが，実際の質量減少率から算出される平均断面積を用いて求めた弾性係数の場合，質量減少率に応じた低下はほとんどなかったものと考えられる。



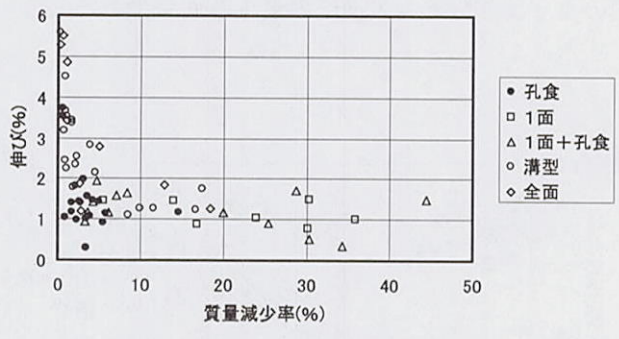
図－3.3.11　質量減少率と弾性係数の関係



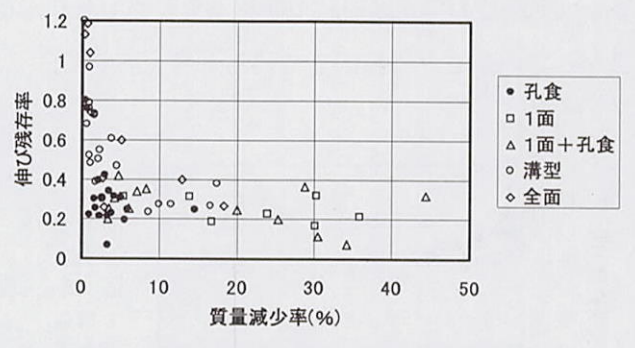
図－3.3.12　質量減少率と弾性係数残存率の関係

(4) 伸び

前項と同様に質量減少率と伸びの関係を図－3.3.13 および図－3.3.14 に示す。伸びはわずか数%の質量減少率であっても著しく低下していた。質量減少率が１～2%で，伸び残存率は健全なものの半分程度まで低下していた。同等の質量減少率でみると，孔食の伸びが他の腐食形状の場合よりもなお小さかった。



図－3.3.13　質量減少率と破断伸びの関係



図－3.3.14　質量減少率と破断伸び残存率の関係

4．人工欠損ＰＣ鋼材の引張試験結果（シリーズ２）

4.1　引張試験結果一覧

表－4.1.1 に，人工欠損を有するＰＣ鋼材の引張試験結果の一覧を示す。基礎データは参考資料８に示す。

表－4.1.1　人工欠損を有するＰＣ鋼材の引張試験結果一覧

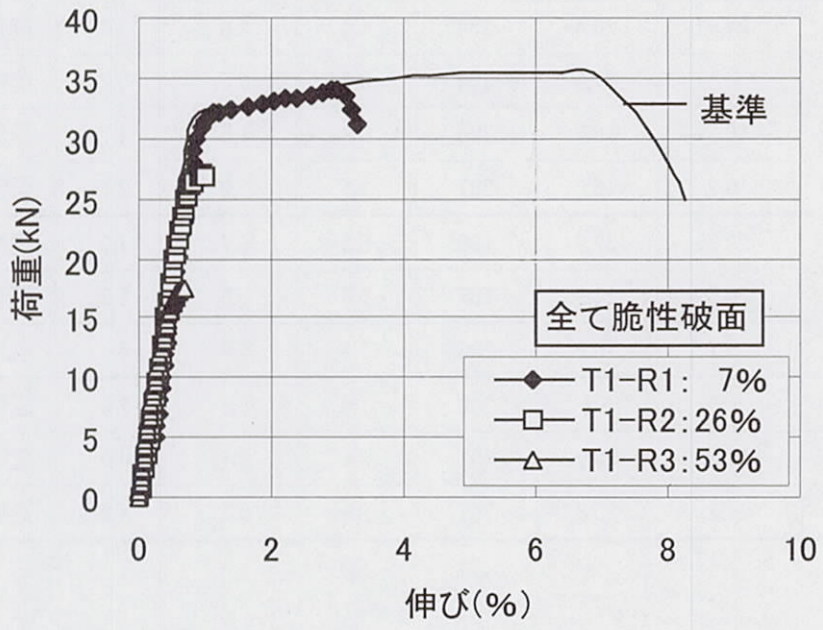
試験片番号	0.2%耐力 (kN)	最大荷重 (kN)	弾性係数 (kN/mm^2)	均一伸び (%)	突合せ伸び (%)	破断伸び (%)	破断状況
T1-R1	31.4	34.0	219	3.0	2.5	3.3	延性・脆性
T1-R2	27.0	27.2	259	1.0	0.6	1.5	脆性破壊
T1-R3	17.1	17.4	385	0.7	0.6	0.7	脆性破壊
T2-R1-L5	31.5	33.3	219	2.4	3.2	3.5	延性破壊
T2-R1-L10	30.7	33.1	217	2.6	3.3	3.9	延性破壊
T2-R1-L15	30.5	33.2	213	2.7	3.6	4.1	延性破壊
T2-R2-L5	26.4	26.9	270	1.1	1.1	1.7	脆性破壊
T2-R2-L10	25.1	26.4	243	1.2	2.3	2.4	延性破壊
T2-R2-L15	24.9	26.4	274	1.4	2.6	2.6	延性破壊
T2-R3-L5	－	17.3	324	0.7	0.5	0.7	脆性破壊
T2-R3-L10	16.6	16.7	298	0.8	1.5	1.7	延性破壊
T2-R3-L15	16.2	16.8	287	1.1	1.9	2.1	延性破壊
T3-R1	29.8	32.9	199	5.5	6.7	7.0	延性破壊
T3-R2	23.5	25.9	187	5.6	5.8	6.8	延性破壊
T3-R3	15.1	16.9	203	5.4	5.0	6.5	延性破壊
T4-φ2	5.2	5.6	338	1.9	1.8	2.3	延性破壊
T4-φ3	12.2	13.0	301	2.6	3.1	4.0	延性破壊
T4-φ4	21.2	23.3	257	2.9	3.7	4.2	延性破壊

4.2　荷重伸び曲線

図－4.2.1 に T1 の荷重伸び曲線を示す。図中，比較のため，欠損のない基準ＰＣ鋼材の結果も示す。ここで，断面減少率は欠損部の最小断面の断面減少量を元の断面積で除したものである。断面減少率が大きくなるにつれて最大荷重，伸びともに低下していた。特に，T1-R1 は断面欠損が小さいわりに基準ＰＣ鋼材と比較して伸びが著しく低下していた。T1 の場合，欠損があっても最大荷重付近までは，基準ＰＣ鋼材と同様の荷重伸び曲線となっていた。また，明らかな脆性破壊が生じていた T1-R2 および T1-R3 は最大荷重後の伸び(局部的なしぼりに伴う変位)がほとんどなく，最大荷重後急激に破断していた。破断面に延性破壊と脆性破壊の両方が見られた T1-R1 は，基準ＰＣ鋼材ほどではないが最大荷重後の荷重の低下が確認された。

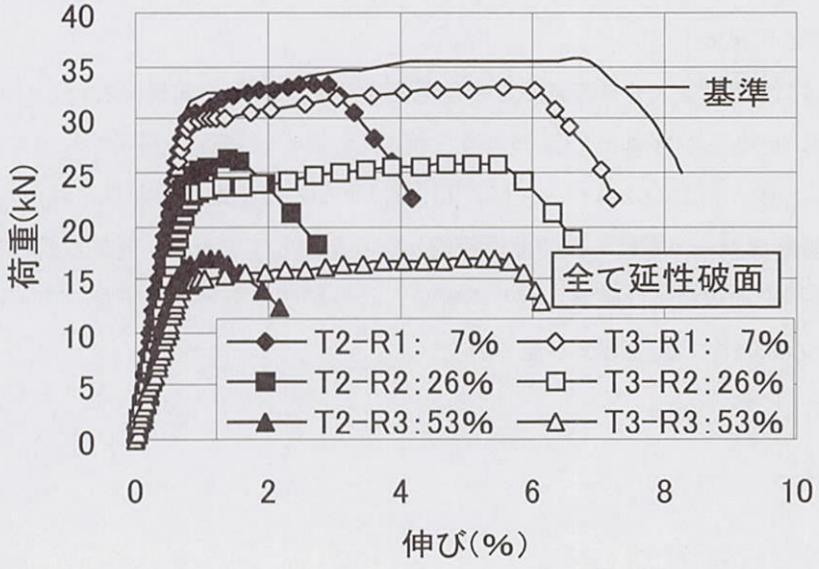
図－4.2.2 に T2 のうち欠損長が 15mm のものおよび T3 の荷重伸び曲線を示す。T2 の場合も，断面減少率が大きくなるにつれて最大荷重，伸びともに低下していた。いずれも最大荷重後の荷重低下とともに伸びが見られ，延性破壊における終局時の局部的なしぼりが生じていたことが確認できる。一方，T3 の場合も，断面減少率が大きくなるにつれて最大荷重，伸びともに低下していたが，伸びの低下は T1,T2 ほども顕著ではなかった。引張強度は，同じ断面減少率の T2 と T3 の結果を比較した場合に，T2 の方がやや大きい傾向にあるが，顕著な差ではなかった。

図－4.2.3 に T4 の荷重伸び曲線を示す。直径が小さいほど(断面減少率が増加するほど)，最大荷重および伸びが低下していた。直径 2～3mm のものは断面減少率が T1 よりも大きいにもかかわらず径に応じた伸びがあるとともに最大荷重後の荷重の低下が見られ，T1 のような脆性的な破壊は見られなかった。



注）凡例の数値は断面減少率

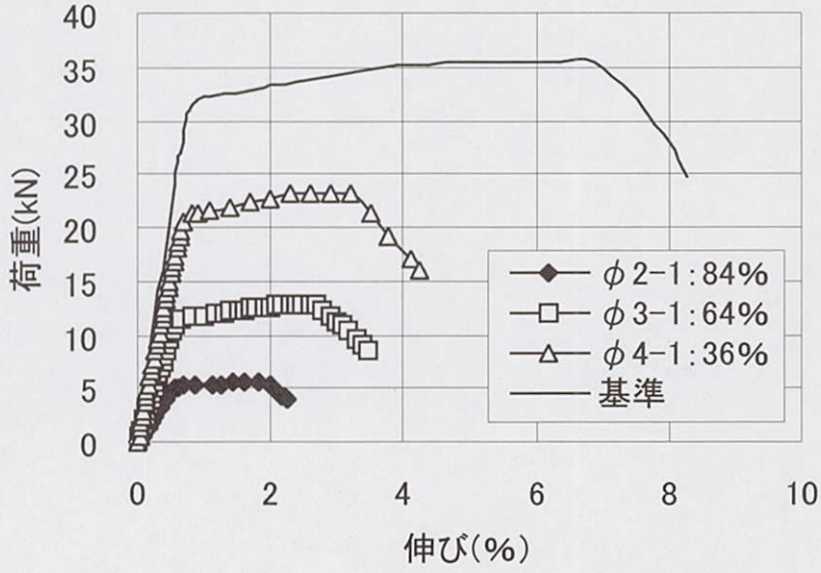
図－4.2.1　荷重伸び曲線(シリーズ２：T1)



注）凡例の数値は断面減少率

T2 は欠損長 15㎜ の結果

図－4.2.2　荷重伸び曲線（シリーズ２：T2，T3）



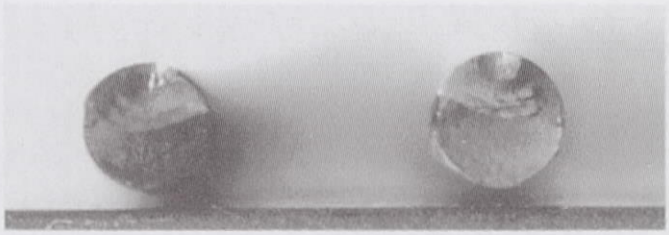
注）凡例の数値は断面減少率

図－4.2.3　荷重伸び曲線（シリーズ２：T4）

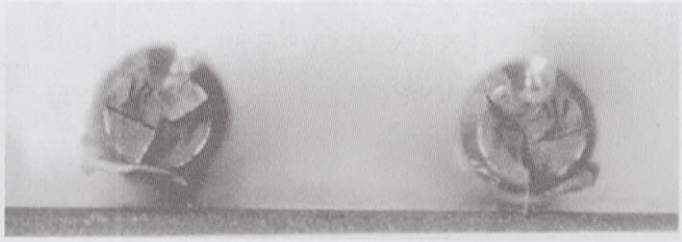
4.3　破断状況

全長にわたって溝が切ってある T3 は破断位置が中心ではなく評点外破断したものがあった。それ以外はすべて欠損部のほぼ中心で破断していた。

写真－4.3.1～4.3.10 に代表的なタイプの試験片の破断面を示す。また，前掲の表－4.1.1 に破断状況も合わせて示した。本文では，破断面が写真－4.3.1 のような状態で，かつ破断面の周囲でしぼりがほとんど生じなかったものを脆性破壊という。このシリーズでは，T1 のほとんどに脆性破壊が見られた。その他のものは，写真－4.3.2 のような破断面で，いずれも破断面近傍でしぼりが生じており，一般的な延性破壊であると考えられる。T1-R1 は，欠損部周辺が延性破壊，残りの部分が脆性破壊であった。また，T2 のうち欠損半径 2～3mm，欠損長さ 5mm の試験片で脆性破壊が見られた。



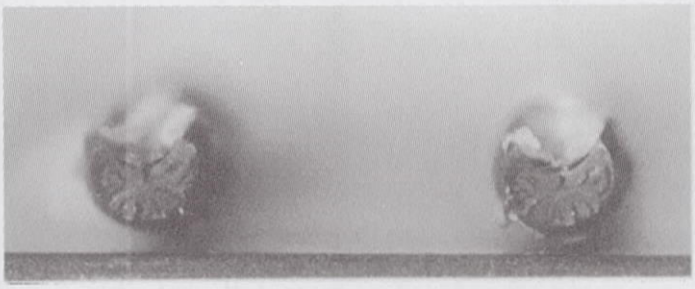
写真－4.3.1　T1-R1　（脆性破面／延性破面）



写真－4.3.2　T2-R1-L5　（延性破面）



写真－4.3.3　T1-R2　（脆性破面）



写真－4.3.4　T2-R2-L10　（延性破面）



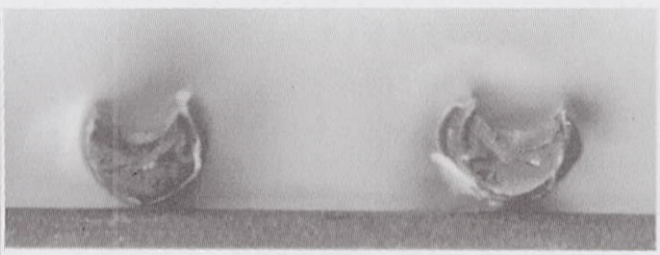
写真－4.3.5　T1-R3　（脆性破面）



写真－4.3.6　T2-R3-L10　（延性破面）



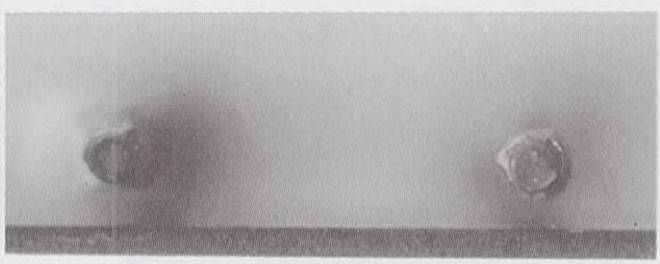
写真－4.3.7　T3-R1　（延性破面）



写真－4.3.8　T3-R2　（延性破面）



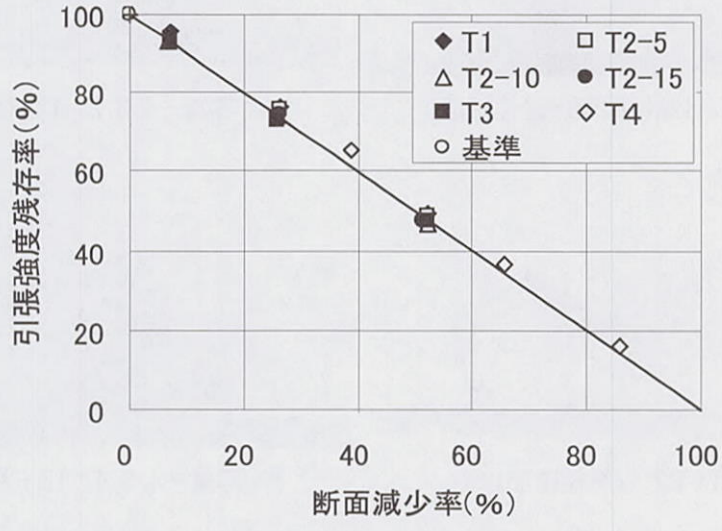
写真－4.3.9　T3-R3　（延性破面）



写真－4.3.10　T4-φ2　（延性破面）

4.4　引張強度と断面減少率

図－4.4.1 に人工欠損を有するＰＣ鋼材の断面減少率と引張強度残存率の関係を示す。断面減少率と引張強度の間には強い相関が見られた。断面減少率に応じて，引張強度が直線的に低下していた。



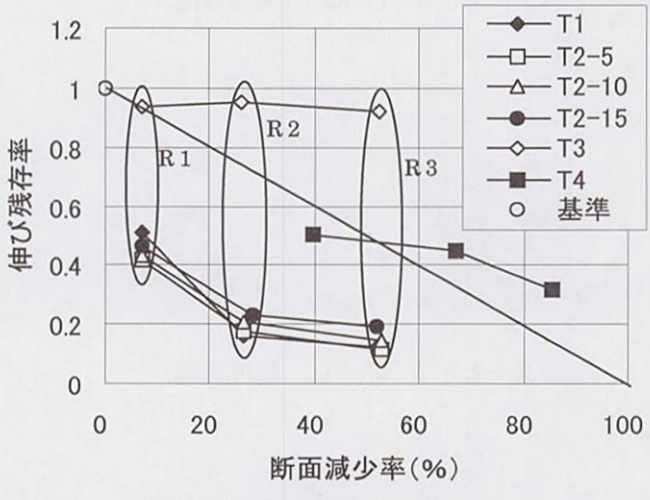
注）図中には同一タイプ３本の
平均値をプロットした。

図－4.4.1　断面減少率と引張強度残存率の関係

4.5　伸びと断面減少率

図－4.5.1 に断面減少率と伸び残存率の関係を示す。いずれのタイプにおいても断面の減少が大きくなるほど伸びも減少していた。T1 と T2 は，断面減少率が比較的小さい R1 の場合においても既に著しい伸びの低下が見られた。T1 と T2 を比較すると，断面減少率は同じでも欠損長によって伸びが異なり，T1-R1 を除いて欠損長が長いほど伸びの低下が小さくなった。

一方，T3 は T1 や T2 と断面減少率が同じであっても伸びの低下は小さかった。また，T3 の伸びは断面の減少が大きくなっても顕著な低下が見られなかった。



注）図中には同一タイプ３本の
平均値をプロットした。

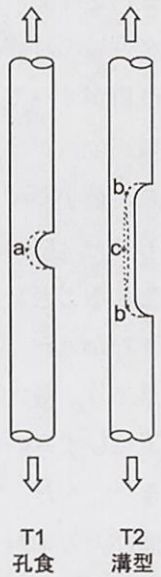
図－4.5.1　断面減少率と伸び残存率の関係

5．引張を受けるＰＣ鋼材の切り欠きと機械的性質

5.1　欠損部周辺の応力集中と破断位置

(1) 応力集中の分布と程度

図－5.1.1 にT1 やT2 の場合に生じると考えられる応力集中の概念図を破線で示した。平板表面に半球状の欠損部周辺の応力集中くぼみをある場合，欠陥部の底に最も大きな応力集中が生じ，そのときの最大の応力集中は欠損部から遠方に生じている応力の約 2 倍程度となる[12]。T1 のうち，母体に比べて欠陥部の深さが小さかったR1 などは，a 点にこれと同程度の応力集中が生じていたものと推察される。R2 やR3 では，母体の応力状態への影響が大きいため，応力集中の程度は明確でない。なお，図－3.1.1 に示したような，半球状よりもさらに深い欠損が生じた場合の応力集中は，欠損部の底部よりも欠損の縁の方が大きくなる。



図－5.1.1 欠損部の応力集中

T2 のような溝型の欠損部周辺の応力集中係数は明確でないが，その分布形は，フィレットを有する丸棒[13]と同じ傾向を示すとすれば，図に示したように溝の同一断面積のところから欠損部両端のＲ部にさしかかるところからＲ部側に 5～10° 入った位置(b 点)にピークが生じると考えられる。しかし，L5 など欠損長が比較的短いときはT1 と同様に欠損部の中央(c 点)にピークがあると考えられる。

図－5.1.2 に，欠損部の表裏両面にひずみゲージを貼ることのできたT2-R2 の欠損部周辺のひずみ測定結果を示す。欠損部の形状寸法が小さいことから欠損側には，１枚のみ，ひずみゲージを貼り付けることができた。弾性域内で，欠損部裏面のひずみが一般部(欠損部中心から 40mm 離れた箇所)のひずみよりも小さくなっているのは，欠損部表側の偏心曲げの影響も入った顕著な応力集中と断面内での均衡を保っているものと考えられる。L5 の場合にこの傾向が特に顕著であり，欠損部裏面のひずみは圧縮ひずみとなっていた。L15 は，裏面のひずみ分布で欠損部の中心にピークが生じていなかったことから，応力集中が分散される傾向にあったと考えられる。これらのひずみ分布より，応力集中の程度はL15,L10,L5 と欠損長が短くなるにつれてより顕著になっていたと推察される。

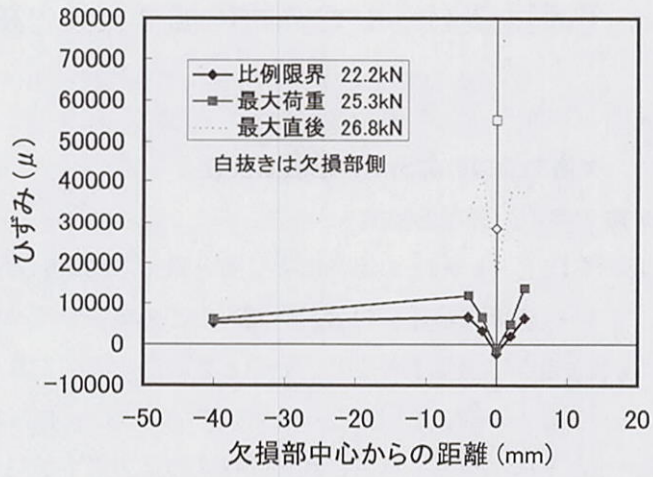
(2) 最大荷重時のひずみ分布

鋼材のような延性材料は，引張荷重の増加に伴って塑性域に至ると応力集中は徐々に緩和され，平均化される傾向にある[14]。図－5.1.2 に示したT2 の最大荷重時のひずみは既に数万 μ を超えてひずみゲージの適用範囲を超えていたので厳密な値とは言えないが，ひずみ分布の傾向は概ね把握できるものと考える。L10，L15 の最大荷重時には，欠損部中心付近で欠損部の表，裏のひずみがいずれも引張側に大きくなっており，L15 の場合，断面内のひずみが平均化していたことがわかる。L10 もL15 ほどではないが，平均化しつつあったことが伺える。L5 の場合，最大荷重時においても欠損部裏面のひずみが圧縮になっていたが，その直後，急激に引張ひずみに転じていた。このとき，欠損部表面のひずみは計測できていないが，最大荷重直後に急激に局部的なひずみの変化が生じていたことがわかる。T2-R2-L5～L15 はいずれも，欠損部表側の弾性域でのひずみのピーク位置が明確に把握できないが，最大荷重時(L5 は最大荷重直後)には欠損部裏側のひず

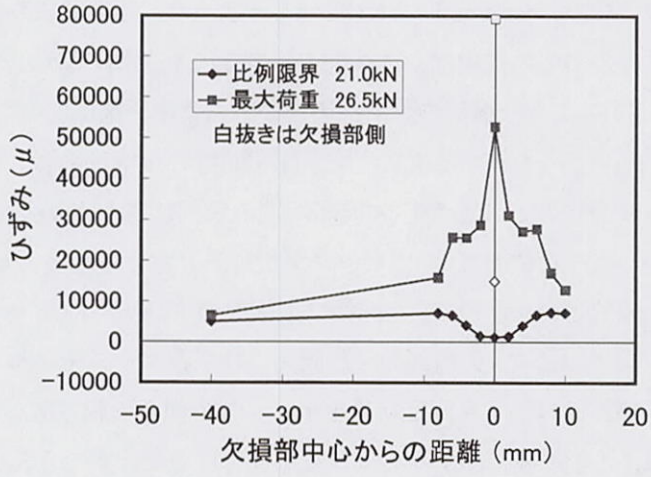
みであっても欠損部の範囲で大きな引張ひずみが生じており，欠損部の中央付近にそのひずみのピークが生じていた。

(3) T2 の破断位置

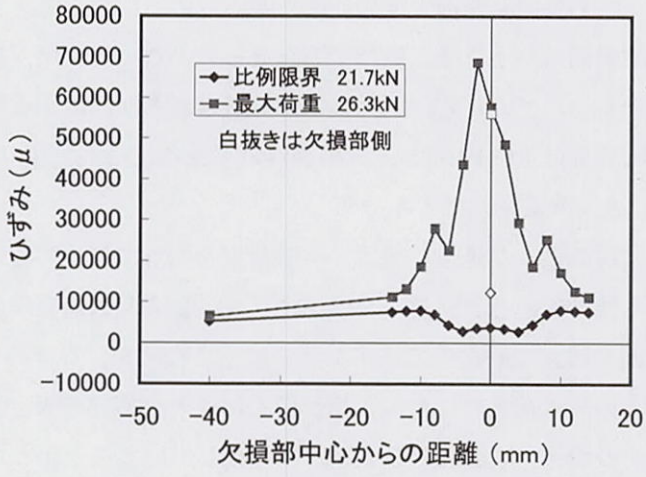
T1 および T2 の破断位置は，いずれも欠損部の中央付近であった。T1 は応力集中のピーク位置，塑性域のひずみのピーク位置及び最小断面積の位置がすべて一箇所に集中しているので，その破断位置が容易に把握できる。しかし，T2 の場合，最小断面の位置は欠損低部の範囲で幅があること，応力集中のピーク位置はR部の範囲に生じることなどから試験前に破断位置を特定できなかった。上記の欠損部のひずみ分布測定結果より，最大荷重時の塑性域では欠損部中央付近にひずみのピークが生じていたことが確認できた。また，これらの図から，最大荷重時には伸びの大半が欠損部に集中するようになることがわかる。この傾向は，欠損部表裏のひずみの平均化とともに，図−4.3.4 において，欠損部の有無やその形状寸法にほとんど関係なく，引張強度残存率と断面減少率が直線関係となる過程を把握する上で重要であると考えられる。



(a) L5



(b) L10

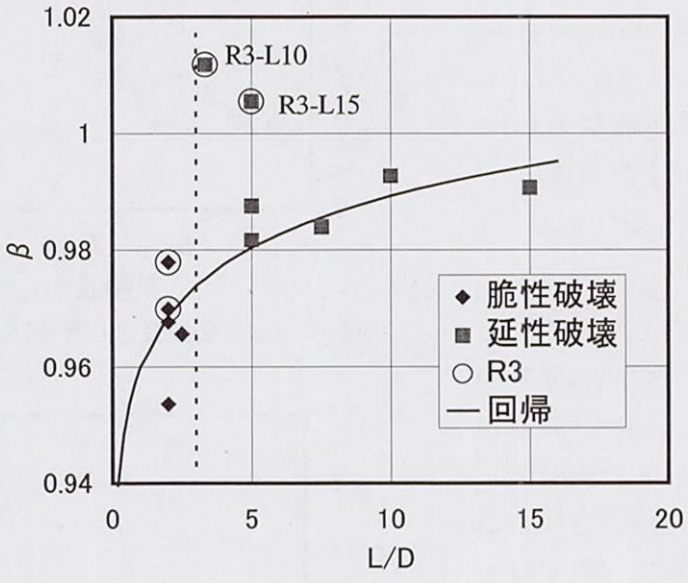


(c) L15

図−5.1.2　T2-R2 における欠損部周辺のひずみ分布
（白抜きのデータは欠損部表面）

5.2 切り欠きと引張強度　－破断係数β－

切り欠きが引張強度に及ぼす影響の程度は，破断係数β（欠損部の純断面と等しい断面形状寸法で，切り欠き(断面変化，応力集中)のないＰＣ鋼材の引張強度／切り欠きのあるＰＣ鋼材の引張強度）によって表される[15]。シリーズ２では，T1 またはT2 の最小断面と同一断面の T3 の引張強度を T1 または T2 の引張強度で除した値がそれにあたる。鋼材のように延性の大きい材料の場合，切り欠きによる応力集中は引張強度にほとんど影響せず，βは応力集中係数にかかわらず 1.0 に近く，材質やノッチの形状によっては 1.0 を下回ることもある[16]。これは，今回の結果でも確認されたように，応力集中によって局部的に応力が高くなっても，降伏点を超えると鋼材が持つ応力－ひずみ曲線に応じて断面内で応力が平均化するためであると考えられている。なお，4.4 節では，断面欠損の形状にかかわらず，引張強度残存率が断面減少率と良い相関が見られたことを述べたが，厳密にみると欠損長Ｌや欠損深さＤの違いによって最大荷重がわずかに違っていた。図－5.2.1 に，βと L/D の関係を示す。T1 や T2 の切り欠きの程度では，βは 0.95～1.02 の範囲であった。特に L/D が 3 以下ではいずれも脆性的な破壊を起こし，そのときのβは0.95～0.98 とより小さい傾向が見られた。L/D が 3 以上のときは，いずれも延性破壊でβは 1±0.02 の範囲にあった。R3-L10 および R3-L15 を除くと，概して L/D が小さいほどβは小さくなる傾向がある。



図－5.2.1　破断係数βと L/D の関係

5.3 切り欠きと伸び性能

(1) 欠損深さ D と伸び残存率

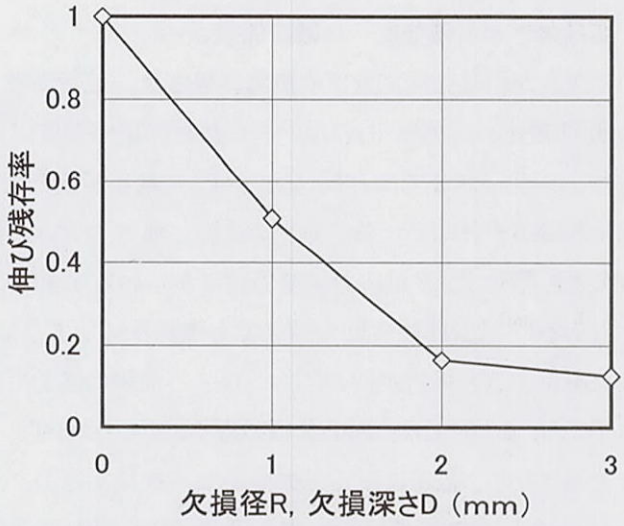
図－5.3.1 に T1 の欠損深さ D(欠損径 R)と伸び残存率の関係を示す。T1 のように半球の欠損がある場合，D が 2mm 程度まで伸びが急激かつ概ね直線的に低下し，D が 2mm の場合に伸び残存率はわずか 0.2 程度となっていた。半径 1mm 程度の小さい窪みであっても，伸びは健全な場合の約 1/2 に低下していた。

(2) 欠損長 L と伸び残存率

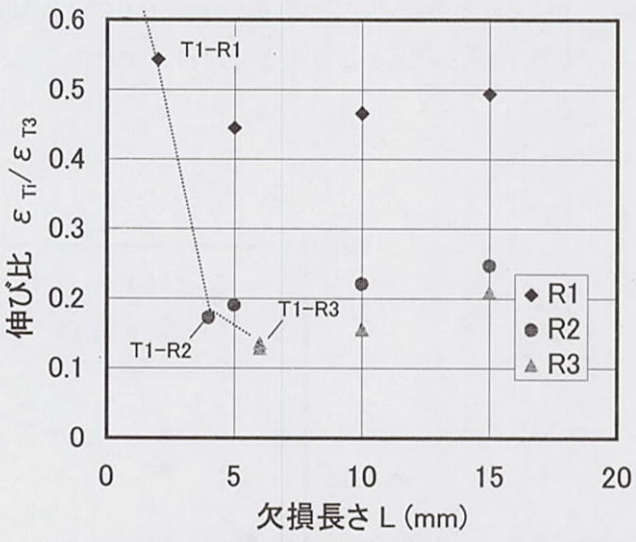
図－5.3.2 に，欠損長さ L の影響を見るため，T1 または T2 の伸び ε_{Ti} をそれらの最小断面積と同じ断面を持つ T3 の伸び ε_{T3} で除した伸び比(ε_{Ti}／ε_{T3})を L との関係で示す。図中，欠損径ごとに記号を変えて示す。T1-R1 を除くと，どの欠損径の場合も欠損長が短くなるほど伸び比は徐々に低下する傾向が見られた。R2 および R3 の場合，その線上(R2 は延長線上)に T1-R2 および T1-R3 がプロットされていた。今回の試験の範囲では，欠損長の影響は欠損深さほども伸びに及ぼす影響が小さかった。T1 の場合，L は 2D であるので，図－5.1.4 に示した結果と同様の傾向を示していた。

(3) L/D と伸び残存率

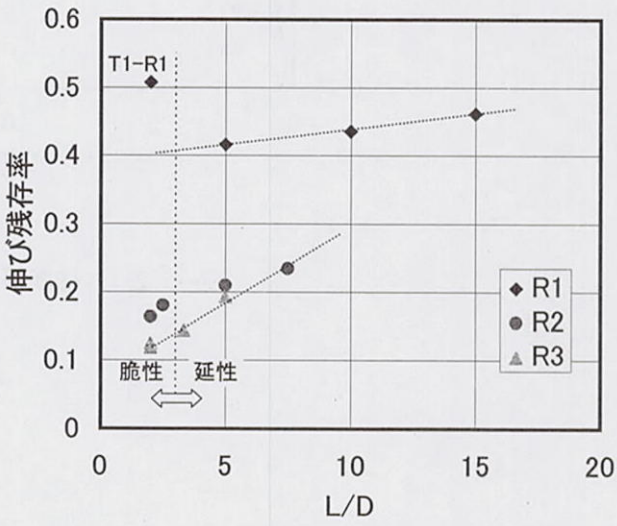
図－5.3.3 に，T1，T2 の伸び残存率と L/D の関係を示す。R2 と R3 の伸びと L/D の関係はほとんど大差なく，L/D が小さいほど伸びが低下していた。R1 の場合も T1-R1 を除くと L/D が小さいほど伸びが低下していたが，伸びと L/D の関係は R2，R3 と明らかに異なっていた。T1-R1 は健全なＰＣ鋼材の半分程度まで伸びが低下していたが，L/D が小さい割には伸び残存率が大きかった。今回の φ5mm のＰＣ鋼材に半径 1mm 程度の欠損がある場合は，欠損が母体に及ぼす影響が小さく，局部的な伸びが生じる前に標点間全体での伸びがあったのではないか



図－5.3.1　欠損深さ D と伸び残存率の関係



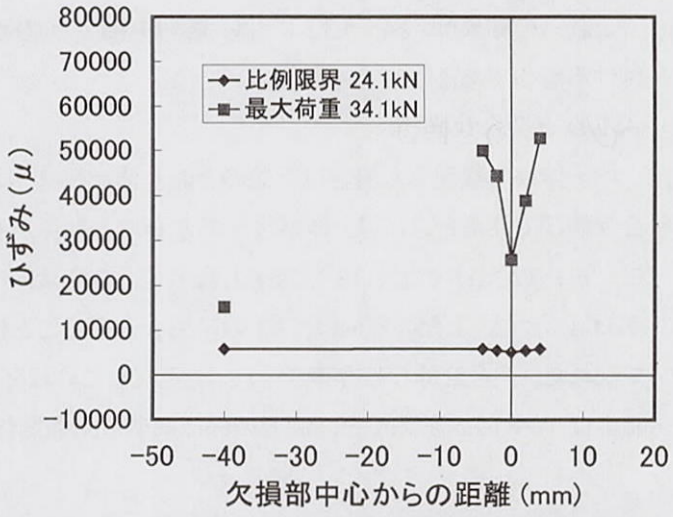
図－5.3.2　欠損長さ L と伸び比 ε_{Ti}／ε_{T3} の関係



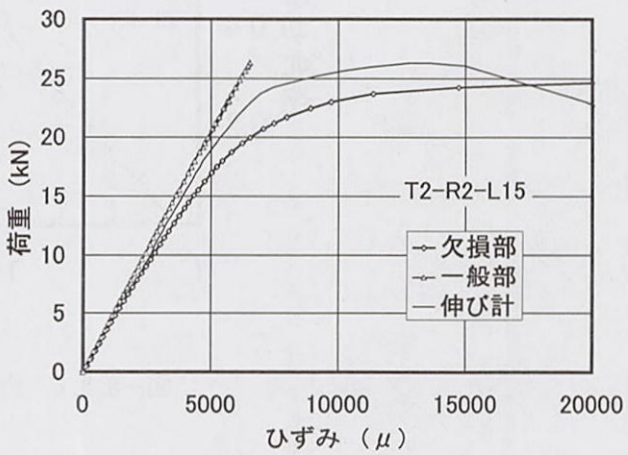
図－5.3.3　L/D と伸び残存率の関係（ε_{Ti}／ε base）

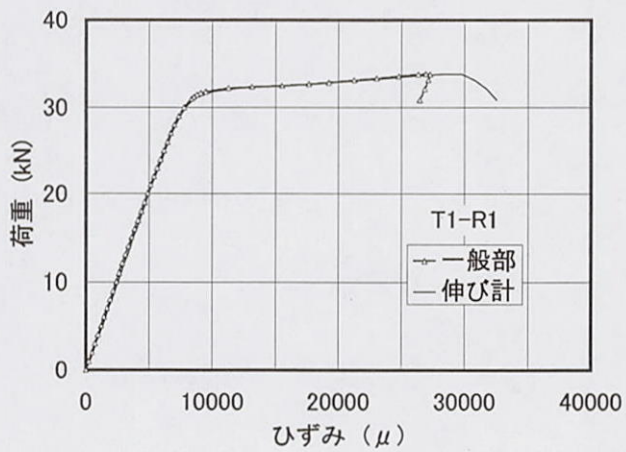
と推察される。

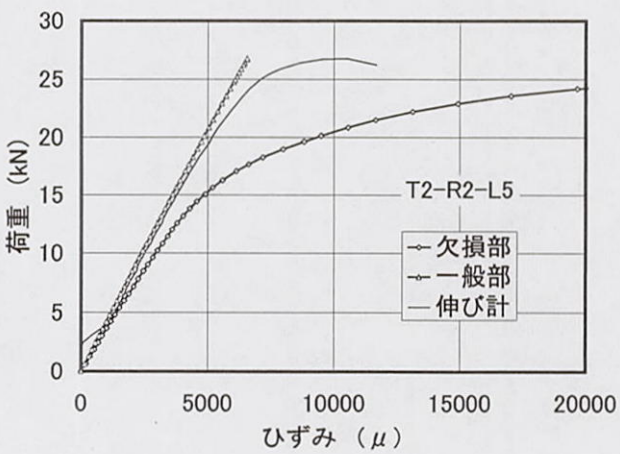
図－5.3.4 にT1-R1 の欠損部裏面のひずみ分布を示す。比例限度内では切り欠きが欠損部裏面のひずみ分布にほとんど影響していなかった。T2-R2 の結果(前掲図－5.1.2)と比較すると，その点が大きく異なっていたことが明らかである。また，一般部(欠損部中心から 40mm の位置)の最大荷重時のひずみは，T1-R1 の場合，一般部でも 10000μを大きく超えており，比例限度のひずみの 2 倍以上となっていた。一方，T2-R2 の場合には 10000μ以下で，比例限度以降のひずみの増加がほとんど見られなかった。これより，T2-R2 では，比例限度以降，欠損部周辺のみで伸びが進展していたのに対して，T1-R1 は比例限度以降も標点間全体で伸びが進展しており，両者の間に切り欠きによる伸び変形の局部化に違いがあったと考えられる。これに関連して，図－5.3.5 に欠損部と一般部，それぞれの荷重－ひずみ関係を，伸び計の測定結果とともに示す。T2-R2 の欠損部のデータは偏心曲げの影響を除くため，欠損部中央の両面の平均値で示した。T1-R1 は欠損部裏面のみひずみを測定していたので欠損部の結果は示していない。T2-R2 の場合，欠損部のひずみは欠損長によって荷重－ひずみ関係に違いがあったが，一般部の荷重－ひずみの関係は L5, L15 ともに最大荷重に至るまで直線であり，いずれも一般部では降伏域に達していなかったことがわかる。一方，T1-R1 では，一般部のひずみは最大荷重直前までほとんど伸び(標点間の平均ひずみ)と同じで，最大荷重時には一般部も降伏域に達していたことが明らかである。



図－5.3.4　T1-R1 の欠損部裏面のひずみ分布
（欠損部表面は測定していない）





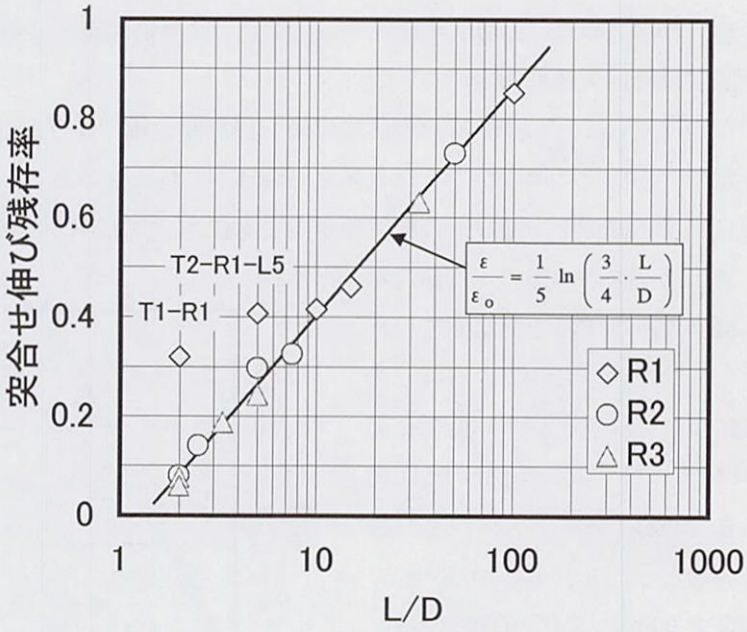


図－5.3.5　一般部と欠損部の荷重－ひずみ関係の比較

これらの結果は，図－5.3.3 において，T1-R1 の伸びが L/D の割に大きいものとなっていた理由の推察を裏付けるものであると考えられる。

(4) L/D と突合せ伸び

均一伸びで整理した場合は上記のとおり伸び残存率と L/D の関係が D によって異なる場合があったが，突合せ伸びで見たときには，伸び残存率と L/D の関係が D にかかわらず一致する傾向が見られた。このことから，T1，T2 だけでなく T3 の結果も含めて，突合せ伸び残存率と L/D の関係を整理してみた。その結果を図-5.3.6 に示す。上記の傾向は，T3 の結果を含めることによって，片対数軸上でより明らかな直線関係となって現れた。突合せ伸び残存率を $\varepsilon / \varepsilon_0$ として，この相関式を図中に示した。欠損の程度が比較的軽微な T1-R1 および T2-R1-L5 を除くと，両者の間に明確な対数関係があるといえる。



図－5.3.6　突合せ伸び残存率と L/D の関係

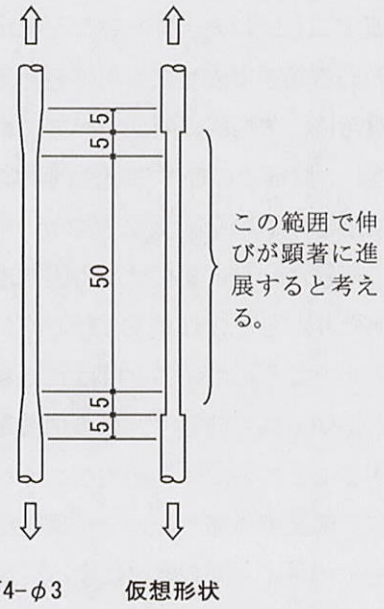
5.4　伸びの相似則と切り欠きの影響

(1) 伸びの相似性

切り欠きのない健全なＰＣ鋼材は，比例限度内では当然，鋼材の径と標点間距離が相似であれば伸びは等しい(本文では伸びの相似則という)。さらに荷重が増して比例限界を超えた場合，しぼりの程度の違いなどによって厳密には相似であるとは限らない[17]。しかし，ここで対象とした切り欠きのあるＰＣ鋼材に限ると，その相似性が大きく失われているとは思えなかったので，この点を確認するため，以下の仮定の下で T4 における径と伸びの関係をもう一度見ることとした。

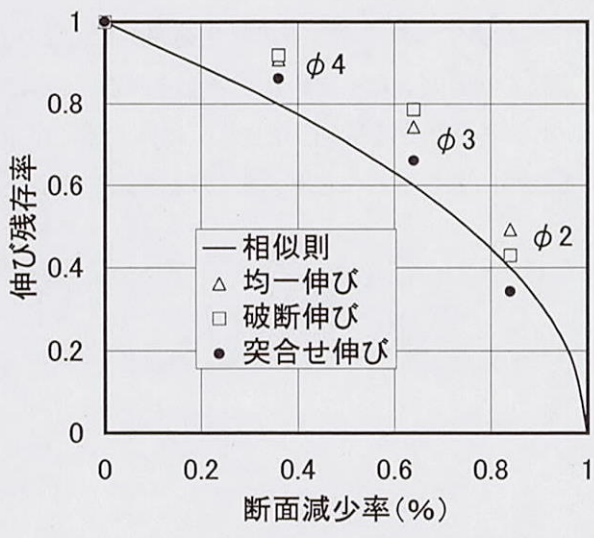
(仮定 1)　対象とした直径 2～5mm の範囲に限れば，しぼりの程度の差は比較的小さく，比例限度を超えても伸びの相似則が成り立つ。

(仮定 2)　切り欠きなどにより断面変化がある場合，塑性域での伸び(均一伸びや突合せ伸び)の大半は切り欠きのある範囲内の伸びが支配的となる(図－5.4.1)。

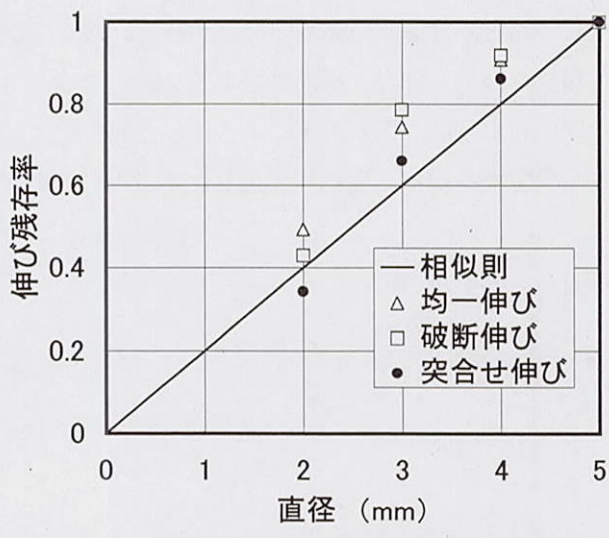


図－5.4.1　伸びの局所化と計算の仮定

鋼材径がもともと T4 のように断面変化したものでなく，全長にわたって鋼材径がそれぞれ 2，3，4mm であったとすれば，それぞれ標点間 100mm の範囲での伸びは図－5.4.2～3 に示すとおりとなる。この図ではφ5mm の結果を 1 として示す。なお，計算を簡単にするため，図－5.4.1 に示したとおり，T4 の試験片のテーパーの部分の真中で急激に断面変化があったものと想定して，この細い部分でのみ，伸びが生じていたものと考えた。図中の相似則と記した線は，標点間距離と鋼材径が比例していれば伸びも比例するとした場合の伸びを示したものである。上記の仮定に基づいて換算した伸びは，この相似則の曲線に概ね沿って変化していた(突合せ伸びがより相似則に近似していた)。このことから，最大荷重時や破断時においても，伸びの相似則が見られることがわかった。



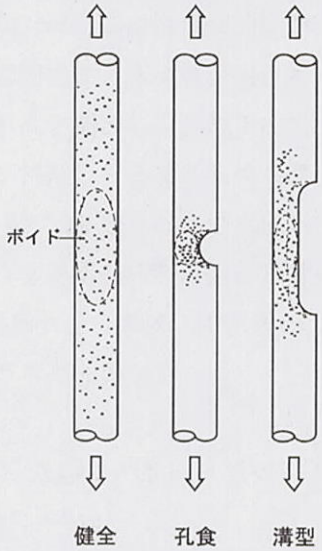
図－5.4.2　T4 の断面減少率と伸びの関係



図－5.4.3　T4 の断面減少率と鋼材径の関係

(2) 切り欠きによる伸びの局所化　－ボイドの発生と成長－

前項の結果は，仮定1だけでなく，断面変化がある場合に，小さい断面の範囲に伸びが集中するという，仮定2も概ね妥当であることを示唆していた。すなわち，切り欠きがある場合には伸びの相似則が切り欠きのある範囲で成り立つものと考えられる。これは，5.3で述べたとおり，最大荷重時に，欠損部の断面すべてにわたってひずみが塑性域に入っていたのに対して，一般部でのひずみが比例限度内にあったこと(T1-R1のように鋼材径に比べて小さいものを除く)と傾向が一致していた。



図－5.1.2 切り欠きとボイドの発生

一般に，ＰＣ鋼材は，引張荷重によってひずみが増加し，比例限界を過ぎたあたりからくびれが生じ始める。くびれは，鋼材内部のある限界ひずみε_vに達したところにボイドと呼ばれる数μmの空隙が発生することによって生じることが知られている[18]。さらに荷重が増加すると，ボイド同士が合体または連結することによって局所的なしぼりが進行し，破断に至る。図－5.4.4に示すように，健全で欠陥のないＰＣ鋼材は，初期の段階では比較的広範囲にボイドが発生し，ボイド間の連結によって局所化していく過程を経る。前述の伸びの相似則が成立するのは，局所的なしぼりの発生範囲(図－5.4.4の楕円の範囲)が径に応じて相似であったためと考えられる。一方，T1やT2のように局所的な断面変化がある場合には，断面積の小さい範囲にε_vに達する箇所が限定され，断面欠損の範囲が狭いほど(欠損長が小さいほど)，低い荷重段階よりひずみ増加の局所化が著しいと考えられる。

特にT1-R2，T1-R3では，最小断面積の断面と応力集中のピークが発生する断面が一箇所に集中しているため，ボイドの発生は極めてせまい範囲であったと考えられる。そして，ボイド間の距離が比較的近接していることから，ボイド間の連結が著しく速かったものと推察される。

また，T1-R2，T1-R3などの破断時に局部しぼりがほとんど生じていなかったのは，ボイドの断面内でのひろがりの方が軸方向のひろがりよりも顕著に速かったためと考えられる。これは，T2でL/Dが3以下であった試験片も同じである。T1，T2ともに，欠損深さが大きくなるほど，このボイドの断面内のひろがりが速かったと考えられる。

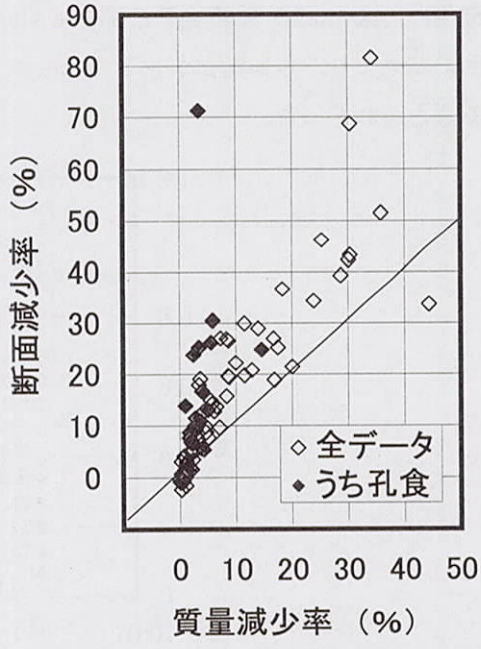
T2の場合，欠損部の範囲で伸びが著しいので，欠損長さが長くなるにつれてボイドの発生範囲が広くなり，欠損長さが均一伸び，破断伸びあるいはつき合わせ伸びを支配する要因となっていたと考えられる。

以上のように，切り欠きによる伸びの局所化は，これらのボイドの発生範囲が限定され，母体全体にボイドが発生する前に，局部に発生したボイドの連結が先行するために生じるものと考えられる。

6．引張を受ける腐食ＰＣ鋼材の機械的性質

6.1 腐食の程度を表す指標

ＰＣ鋼材の腐食の程度を表す指標として，３章シリーズ１ではまず腐食質量減少率で整理した。しかし，これは試験片全長の範囲での平均断面減少率を表すものであり，１本の試験片の中での最小断面減少率を表していない。特に，孔食のある鋼材の機械的性質など，機械的性質に及ぼす腐食の影響をみる場合には，最大断面減少率(最小断面積)の把握がより重要である。このため，除錆後に表面の断面形状の計測を試みたが，ＰＣ鋼材が製造時からもっているわずかなそりによって正確な測定が容易でなく，最小断面積を把握できなかった。この代替として，シリーズ２において，最小断面減少率が引張強度(最大荷重)の減少率とほとんど１対１の関係にあることが確認できたので，この引張強度減少率を最大断面減少率とみなしてシリーズ１の結果を再考することとした。参考として，図－6.1.1 に質量減少率(平均断面減少率)と最大荷重から求めた断面減少率(最大断面減少率)の関係を示す。孔食の最大断面減少率は，他の腐食形状と大きく異なり，平均断面減少率がわずか 5%程度であっても最大断面減少率は 20～40%に達していた。その他の腐食形状の場合，孔食ほどではないが，最大断面減少率は平均断面減少率の 2 倍程度となっていた。

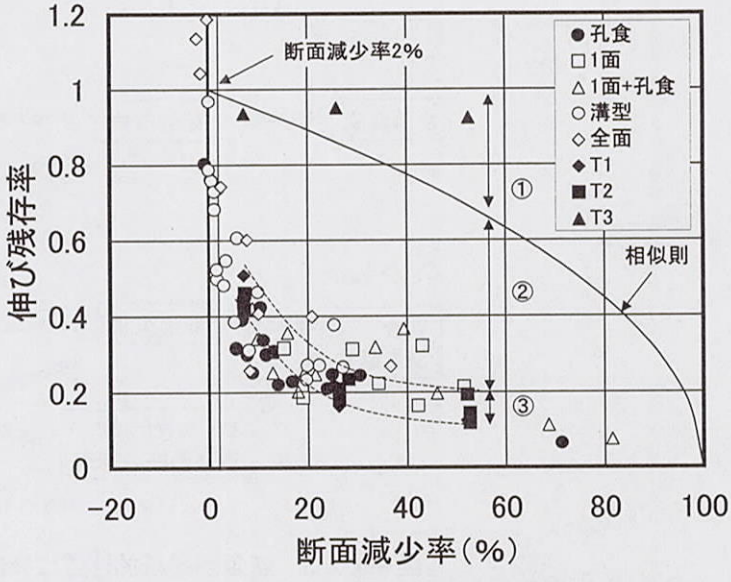


図－6.1.1　腐食ＰＣ鋼材の最大荷重から求めた断面減少率と質量減少率

6.2　腐食ＰＣ鋼材の最大荷重から求めた断面減少率と伸びの関係

腐食ＰＣ鋼材の最大荷重から求めた断面減少率と伸び残存率の関係を図－6.2.1 に示す。比較のため，シリーズ２の欠損ＰＣ鋼材の試験片 T1, T2 および T3 の結果も示した。図中に示した相似則の線は図－5.4.1 で示したものと同じである。腐食ＰＣ鋼材の伸びの低下の程度は，シリーズ２の L/D による差以上にばらついていたが，マクロ的に見ると T1，T2 の結果と同程度であった。

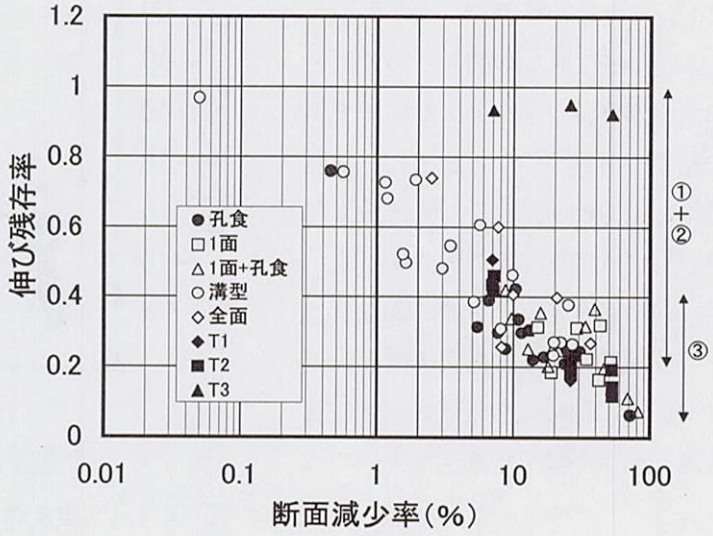
腐食ＰＣ鋼材の伸びは，同程度の断面



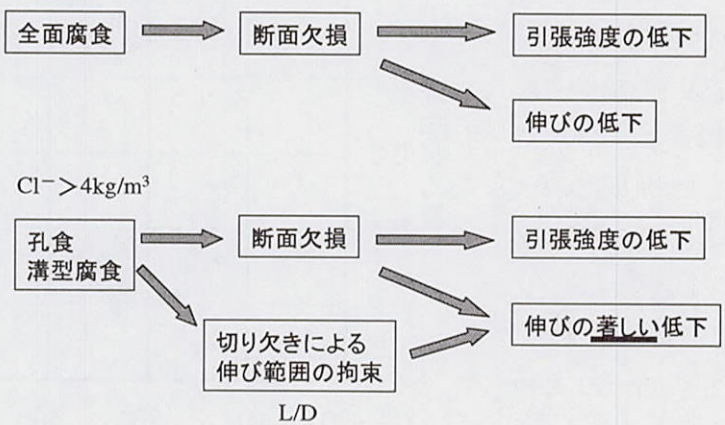
図－6.2.1　断面減少率と伸び残存率の関係

減少率の場合，孔食の結果が他の腐食形状の結果よりも低い傾向にあった。これは，T1 や T2 における欠損部の L/D が小さくなることと類似していた。腐食による断面減少に伴う伸び能力の低下(図中の①＋②)と腐食による欠損形状(L/D など)に応じた伸びの局所化(図中の③)が生じていたためと考えられる。孔食の結果は同じ断面減少率の場合に T1 や T2 よりも小さいものが見られた。これは，腐食ＰＣ鋼材の L/D が T1 や T2 の L/D の最小値 2 よりもさらに小さい孔食や半球以上に深く腐食が進行していたものなどが混在していたためと考えられる。腐食ＰＣ鋼材の伸びに関して，孔食は最も厳しい腐食形状(切り欠き形状)であったことが明らかである。なお，参考として，図－6.2.1 と同じデータを用いた片対数グラフを図－6.2.2 に示す。伸び残存率と断面減少率の関係はこの図上で概ね直線関係が見られた。

最後に，図－6.2.3 に腐食ＰＣ鋼材における腐食が引張強度および伸びに与える影響項目を整理しておく。今回の結果より，水素脆化が生じていなくても，わずかな腐食あるいは切り欠きによって伸びが著しく低下することがわかった。



図－6.2.2　断面減少率と伸び残存率の関係（片対数グラフ）



図－6.2.3　腐食が機械的性質に及ぼす影響（模式図）

7．まとめ

(1) ここで対象とした直径2～5mmの鋼材径に限れば，ＰＣ鋼材は，比例限度を超えても直径の低下に概ね比例して伸びが低下すること（伸びの相似則が成り立つこと）が確認できた。また，切り欠きなどによりある程度以上の断面変化がある場合，均一伸びの大半は欠損長の範囲内の伸びが支配的となる傾向（伸びの局所化）があるとともに，この欠損長の範囲内で伸びの相似則が成り立つことがわかった。欠損部の伸びの局所化は，母材全体にボイドが発生する前に，欠損部に生じたボイドの連結・発達が先行することによるものと推察される。

(2) φ5mmのＰＣ鋼材に半球状の窪みがある場合，その欠損深さD(または欠損径R)が2mm程度までは，伸びが急激かつ概ね直線的に低下し，伸び残存率はDが1mmで約1/2，同2mmでわずか0.2まで低下していた。

(3) 最小断面積が同じ場合，欠損長Lが小さくなるに従って，伸びは低下する傾向が見られたが，本シリーズのパラメータの範囲では，欠損径の影響に比べて欠損長の影響が比較的小さかった。

(4) 伸び残存率はL/Dが小さいほど低下する傾向が見られた。均一伸びの場合，伸び残存率とL/Dの関係は欠損深さDによって異なっていたが，突合せ伸びでの伸び残存率はT1-R1およびT2-R1-L5を除いてln(L/D)と強い相関があることがわかった。T1-R1およびT2-R1-L5は，切り欠きの寸法が比較的小さかったため，伸びの局所化の傾向が小さかった。

(5) 腐食の程度を表す指標は，最初に質量減少率を用いたが，これは試験片全体の平均断面減少率に相当するものであるため，孔食等の局所的な断面欠損の最小断面積を適切に評価することができなかった。シリーズ２の結果より，切り欠きのあるＰＣ鋼材の引張強度は最大断面減少率と直線関係があることがわかった。腐食ＰＣ鋼材の最大断面減少率（最小断面積）は，レーザー変位計などによって直接測定するのが容易でないことから，引張強度から推定するのが簡便性かつ精度の面でよいと考えられる。引張強度から求めた断面減少率は，孔食などの局部的な断面欠損がある場合の機械的性質を検討するために有効な指標となる。

(6) この断面減少率を指標として，シリーズ１とシリーズ２の伸び残存率を比較すると，腐食ＰＣ鋼材の伸び残存率は欠損ＰＣ鋼材の結果と同程度であった。このとき，腐食ＰＣ鋼材の伸び残存率は，断面減少率がわずか2%程度であっても健全なものの約1/2まで低下していた。腐食ＰＣ鋼材のうち，孔食の伸び残存率が特に小さい傾向が見られた。この結果とシリーズ２の結果より，腐食ＰＣ鋼材の伸び残存率がばらついていたのは，欠損ＰＣ鋼材の結果で見られた欠損形状（L/D等）の違いによるものであったと考えられる。

(7) 腐食ＰＣ鋼材の伸びの低下は，腐食による水素脆化が生じていなくても，欠損ＰＣ鋼材と同様に，腐食によって断面が減少することによる伸び能力の低下と，腐食による欠損の形状（L/D等）に応じた伸びの局所化が生じていたことで生じ得ると考えられる。

(8) １シース内におけるＰＣ鋼材の腐食形状や腐食の程度は，周囲の塩化物イオン量やひび割れの有無・程

度によって異なっていた。質量減少率が比較的小さいにもかかわらず，伸びの著しい低下が見られた孔食は，周囲の塩化物イオン量が約 $4kg/m^3$ 以上のシース内で見られた。

謝辞

試験片の採取には，塚田幸広前所長，高橋孝男前建設監督官，横山修司建設監督官をはじめ建設省酒田工事事務所，同鶴岡国道維持出張所の皆様の協力を得ました。この場を借りて関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

1) コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究―コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査―，土木研究所資料第3811号，2001.3

2) 田中良樹，河野広隆，渡辺博志，鈴木雅博：塩害を受けたプレテンションＰＣ桁の耐荷性状，コンクリート工学年次論文報告集，21-3，pp.973-978，1999

3) 田中良樹，河野広隆，渡辺博志，木村哲士：塩害を受けたポストテンションＰＣ桁の塩害劣化と耐荷力，コンクリート工学年次論文報告集，22-3，pp.781-786，2000

4) 森田司郎：ＰＣ鋼材の現況と展望，プレストレストコンクリート，16-1，p.6，1974.2

5) 倉内実：ＰＣ鋼材の腐食：コンクリート工学，25-7，pp.32-36，1987

6) 小林佑規，田中義久：ＰＣ鋼より線の3%NaCl水溶液における応力腐食特性，プレストレストコンクリート，33-3，pp.98-106，1991.5

7) 大西弘志，松井繁之：腐食ＰＣ鋼材の表面凹凸がその強度に与える影響，鋼構造年次論文報告集，第７巻，pp.203-208，1999

8) 小尾稔，堺孝司：補修補強を施したＰＣ橋の劣化および耐荷力（第２報），土木学会第46回年次学術講演会講演概要集第５部，pp.394-395，1991

9) 富田勝信，渡辺信一：曝露腐食によるＰＣ鋼線の疲れ強さの低下，プレストレストコンクリート，vol.6，No.4，pp.50-54，1964

10) 木村哲士，河野広隆，田中良樹：塩害を受けたＰＣ鋼材の腐食性状と伸び性能，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集第５部，pp.724-725，2000

11) 木村哲士，河野広隆，田中良樹：塩害により腐食したＰＣ鋼線の腐食性状と機械的性質，コンクリート工学年次論文集，23-2，pp.559-564，2001

12) 西田正孝：応力集中，森北出版，1967.8，pp.526-529

13) 12)と同じ，pp.632-636

14) 12)と同じ，pp.58-59

15) 12)と同じ，pp.59-60

16) 12)と同じ，pp.64-65

17) 例えば，4)の表－8，p.6

18) 鉄鋼便覧，Ⅰ基礎，日本鉄鋼協会編，p.264，p.530，1981.6

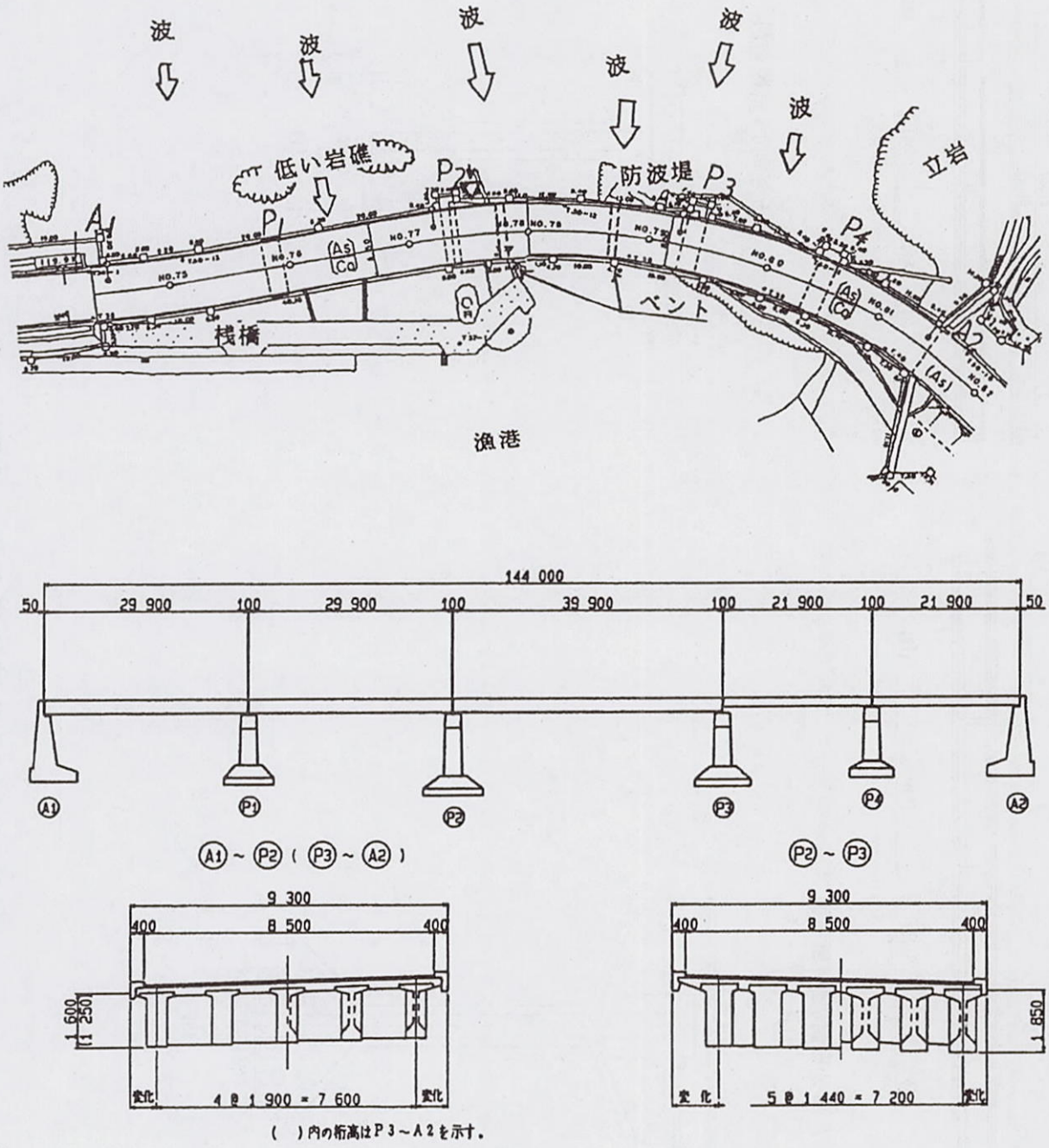
参　考　資　料

目　　次

参考資料１・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 57
腐食ＰＣ鋼材を採取した橋梁の一般図および採取箇所図
参考資料２・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 65
塩化物イオン量測定結果
参考資料３・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 69
ブランク試験方法および試験結果
参考資料４・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 73
質量減少率測定結果
参考資料５・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 83
引張試験結果（シリーズ１）
参考資料６・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 109
形状計測結果
参考資料７・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 149
ひずみゲージ貼付け図
参考資料８・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 157
引張試験結果（シリーズ２）

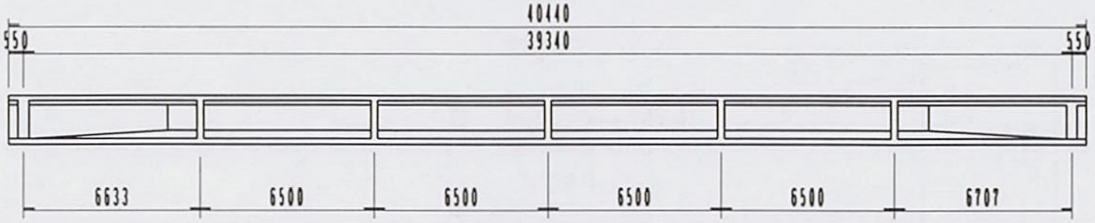
参考資料１

ＰＣ鋼線採取橋梁一般図および採取箇所図

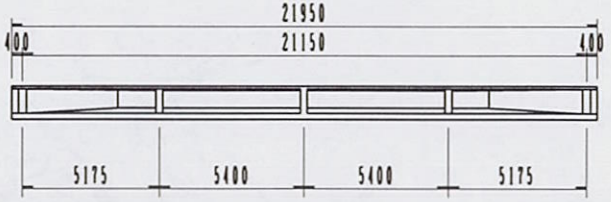


図－1.1 シリーズ１試験片を採取した対象橋梁

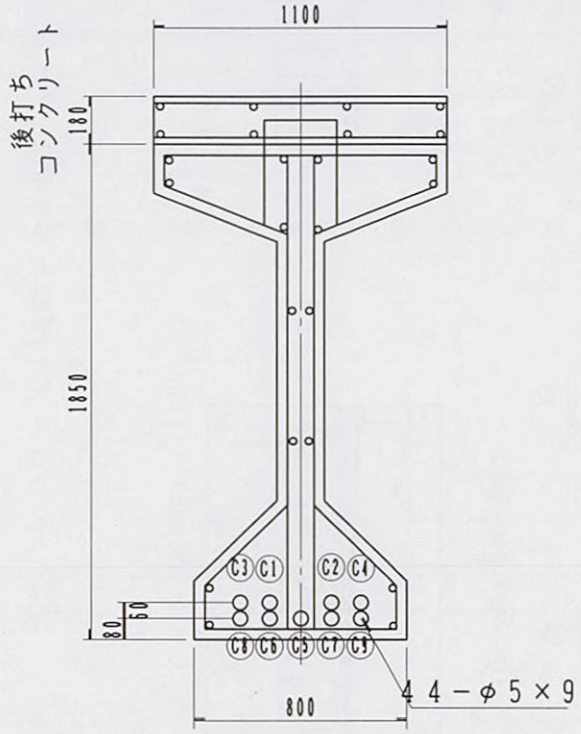
第３径間Ｇ３桁側面図



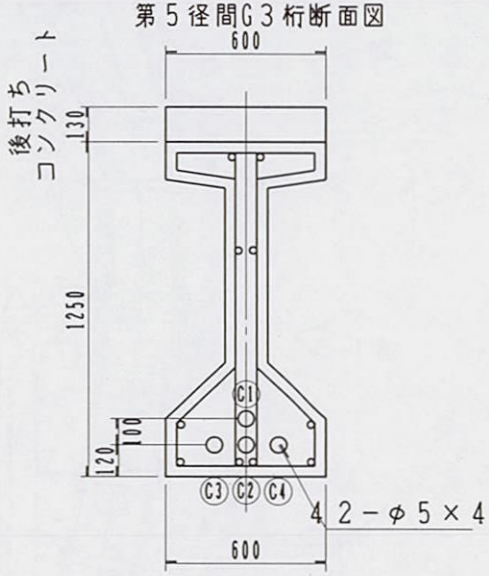
第５径間Ｇ３桁側面図



第３径間Ｇ３桁断面図

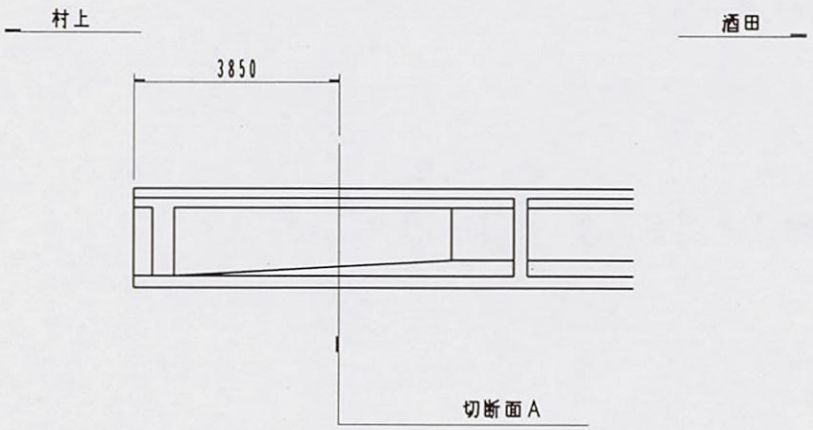


第５径間Ｇ３桁断面図

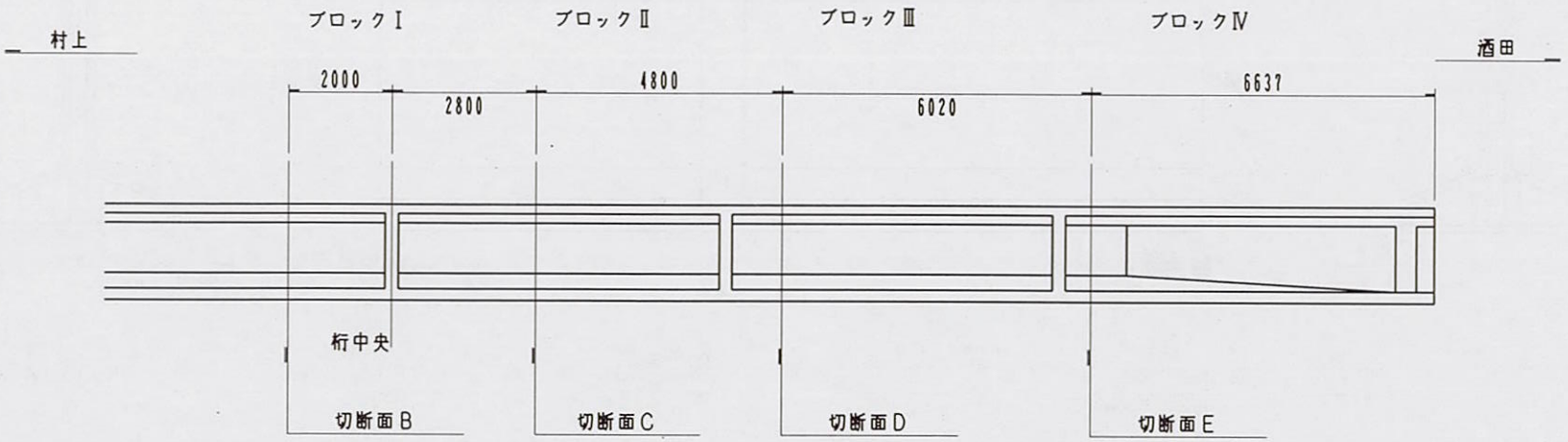


図－1.2　ＰＣ鋼線採取桁一般図

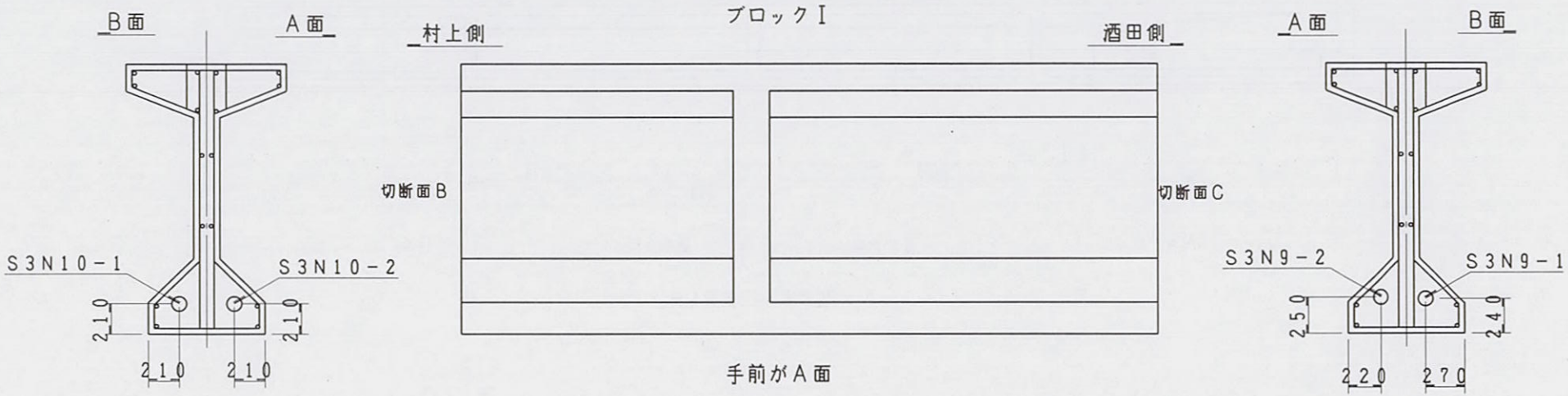
第３径間Ｃ４桁側面図



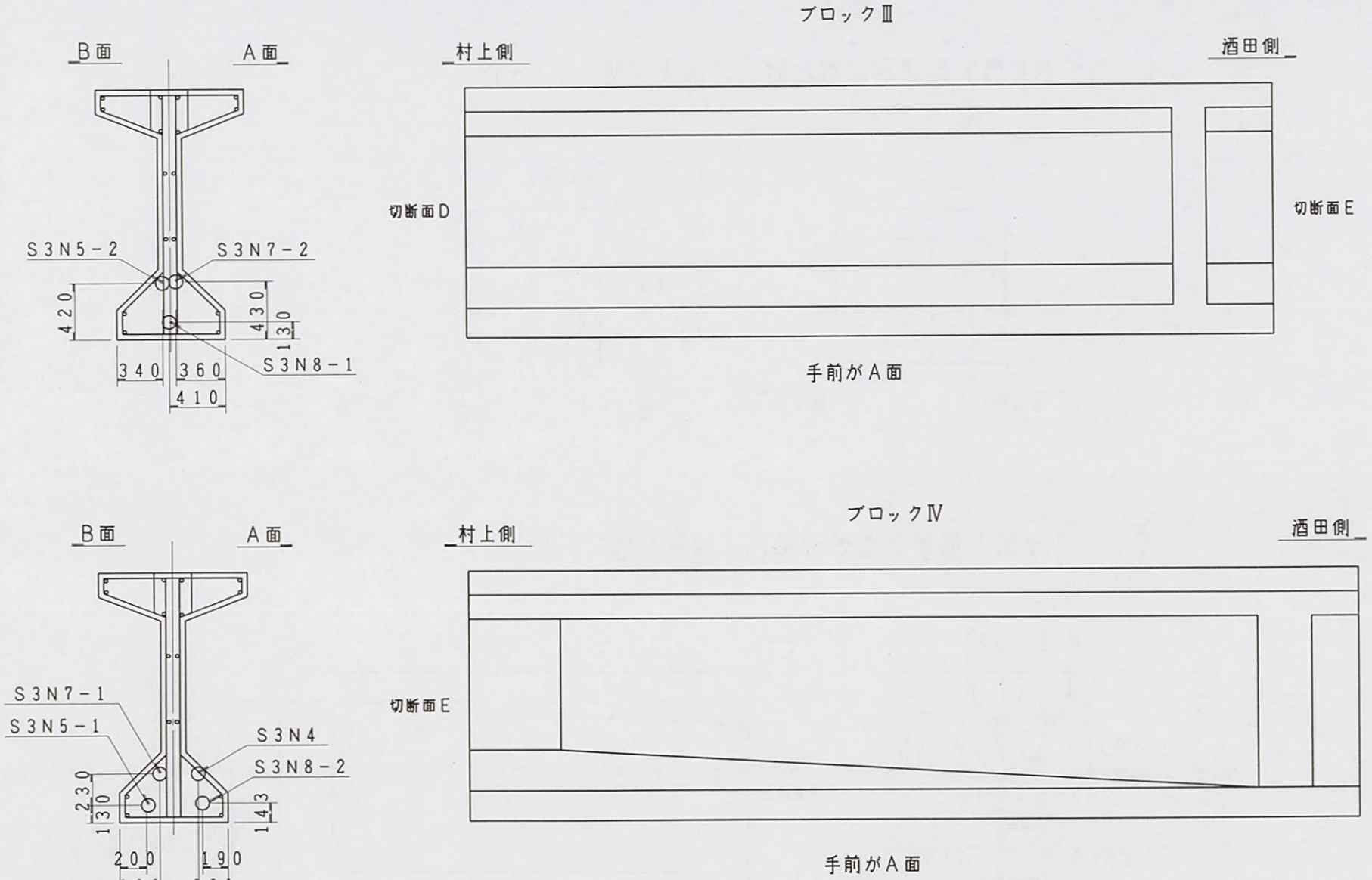
第３径間Ｃ３桁側面図



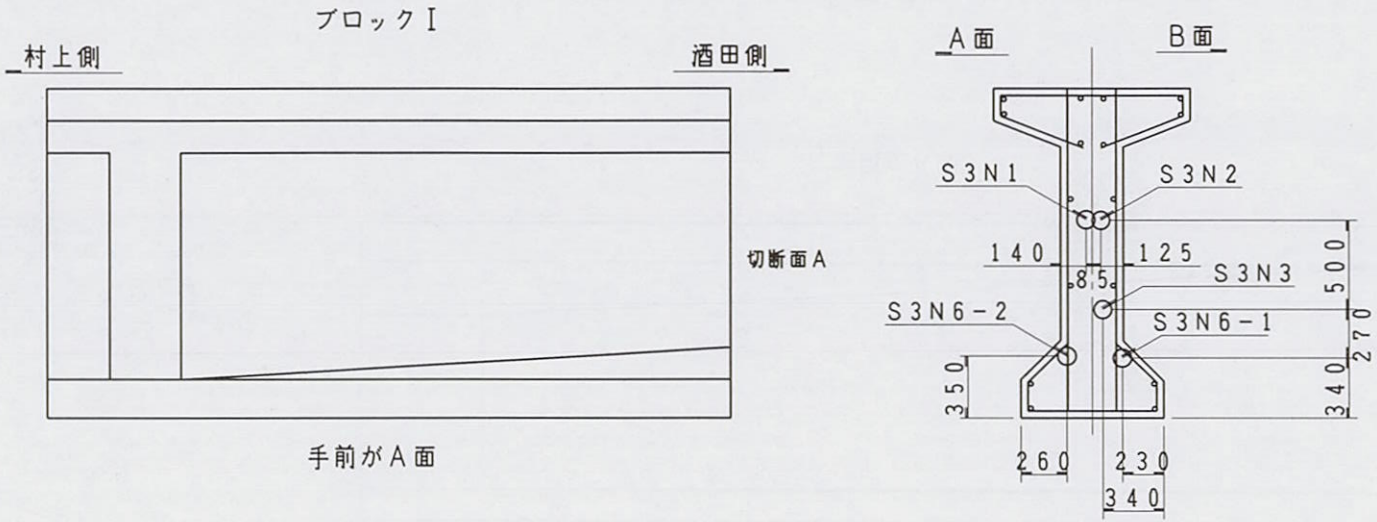
図－1.3　第３径間桁切断位置図



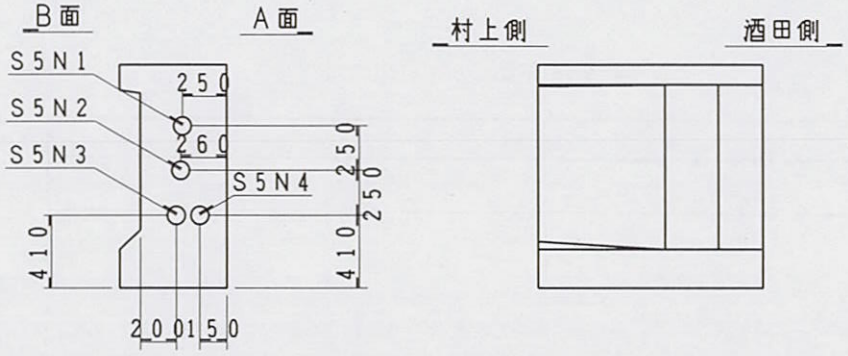
図－1.4　第3径間ＰＣ鋼線採取位置図（ブロックⅠ）



図－1.5　第3径間PC鋼線採取位置図（ブロックⅢ，Ⅳ）



図－1.6　第3径間ＰＣ鋼線採取位置図（Ｇ4）



図－1.7　第5径間ＰＣ鋼線採取位置図（Ｇ4）

参考資料２

塩化物イオン量測定結果

表－2.1　　ＰＣ鋼材周辺塩分量測定結果

スパン	試料名	試料種類	採取位置	塩化物イオン量(kg/m^3)
3	1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	標準試料	0.443
3	1	ｸﾞﾗｳﾄ	ｸﾞﾗｳﾄ内部	0.328
3	2	ｺﾝｸﾘｰﾄ		1.115
3	2	ｸﾞﾗｳﾄ		0.259
3	3	ｺﾝｸﾘｰﾄ	上	4.669
3	3	ｺﾝｸﾘｰﾄ	右４５度	4.540
3	3	ｺﾝｸﾘｰﾄ	左９０度	0.938
3	3	ｺﾝｸﾘｰﾄ	下部	0.622
3	3	ｸﾞﾗｳﾄ		1.959
3	4-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ		測定不能
3	4-1	ｸﾞﾗｳﾄ		測定不能
3	5-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ		測定不能
3	5-1	ｸﾞﾗｳﾄ		測定不能
3	5-2	ﾌﾟﾚﾊﾟｸﾄﾞ	ﾌﾟﾚﾊﾟｸﾄﾞ	3.141
3	5-2	ｸﾞﾗｳﾄ		5.676
3	6-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	上　腐食なし	3.267
3	6-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	下　うすさび有	2.712
3	6-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	右　腐食有	3.383
3	6-1	ｸﾞﾗｳﾄ	上	0.184
3	6-1	ｸﾞﾗｳﾄ	下	0.085
3	6-1	ｸﾞﾗｳﾄ	右	0.209
3	6-1	ｸﾞﾗｳﾄ	中心	0.240
3	6-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	上部　腐食中	4.752
3	6-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	右部　腐食小	0.838
3	6-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	左部　腐食大	6.245
3	6-2	ｸﾞﾗｳﾄ	上　腐食中	3.153
3	6-2	ｸﾞﾗｳﾄ	右部　腐食小	3.803
3	6-2	ｸﾞﾗｳﾄ	左部　腐食大	3.693
3	6-2	ｸﾞﾗｳﾄ	中心部	4.055
3	7-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	上	7.984
3	7-1	ｸﾞﾗｳﾄ		10.256
3	No.7-2(Z)	ｺﾝｸﾘｰﾄ	5cm地点　ひびわれ大	3.188
3	No.7-2(Z)	ｺﾝｸﾘｰﾄ	30cm地点　ひびわれ大	5.238
3	No.7-2(y)	ｸﾞﾗｳﾄ		9.404
3	No.8-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	0cm地点　ひびわれ小	1.787
3	No.8-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	20cm地点　ひびわれ小	1.233
3	No.8-1	ｸﾞﾗｳﾄ		2.359
3	No.8-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	3cm地点　ひびわれ小	0.917
3	No.8-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	22cm地点　ひびわれ小	0.430
3	No.8-2	ｸﾞﾗｳﾄ		0.209
3	9-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	CON 上部	0.134
3	9-1	ｸﾞﾗｳﾄ		0.168
3	9-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	上部	0.668
3	9-2	ｸﾞﾗｳﾄ		0.200
3	10-1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	上部	0.103
3	10-1	ｸﾞﾗｳﾄ		0.205
3	10-2	ｺﾝｸﾘｰﾄ	上部	0.069
3	10-2	ｸﾞﾗｳﾄ		0.250
5	1	ｺﾝｸﾘｰﾄ	標準試料	0.243
5	1	ｸﾞﾗｳﾄ	定着体ラッパ管中心部	0.100

注）グラウト試料の場合はグラウトの単位体積重量を2.0として計算した。

参考資料３

ブランク試験方法および試験結果

錆除去試験（ブランク試験）

１．目的

錆を除去する際に，錆と一緒に地鉄の部分までも溶出させてしまうと，材料特性に影響が出ることが考えられる。

錆除去が完全にでき，かつ，健全な部分の浸食がおこらない最適時間を決定する為に行う。

２．供試体

腐食していない健全なＰＣ鋼線を用いる。

電食試験，自然腐食鋼材の腐食量測定と条件を統一させるために使用鋼材はφ5×330 を標準とする。

３．実験方法

（１）供試体の質量を計測する。

（２）供試体を１００℃のクエン酸２アンモニウム１０％溶液１０％中で煮沸する，煮沸時間は，５分～３０分まで５分刻みとする。

（３）煮沸が終了した時点で供試体を引き上げ水洗いした後，質量を測定し質量減少量を計算する。

４．実験結果

実験結果を次項に示す。

煮沸時間が増えるに比例してブランク値は大きくなる。２０分間でおおよそ 0.9（g/m）の減量があることが確認できた。

当初は，鋼材の地鉄を溶出させずに錆の除去が出来るような煮沸時間を決めることを目的としていた。しかし，試験の結果から，地鉄の部分の溶出はある程度許容しなければならなことがわかった。実際の錆落としには最低でも２０分程度の煮沸が必要であるため，ブランク値は 0.9g/m 程度になる。これは今回の錆落としで使用する長さ 330mm の鋼線の質量減少率で表すと 0.6％程度になる。

伸びに関しては，ごく小さい質量減少率であっても伸びの低下が著しいといわれているため，錆落としの影響がでないとも言い切れない。そこで，今回行う錆落としでは，今回求めたブランク値を用いて質量減少率を補正することとする。（１）

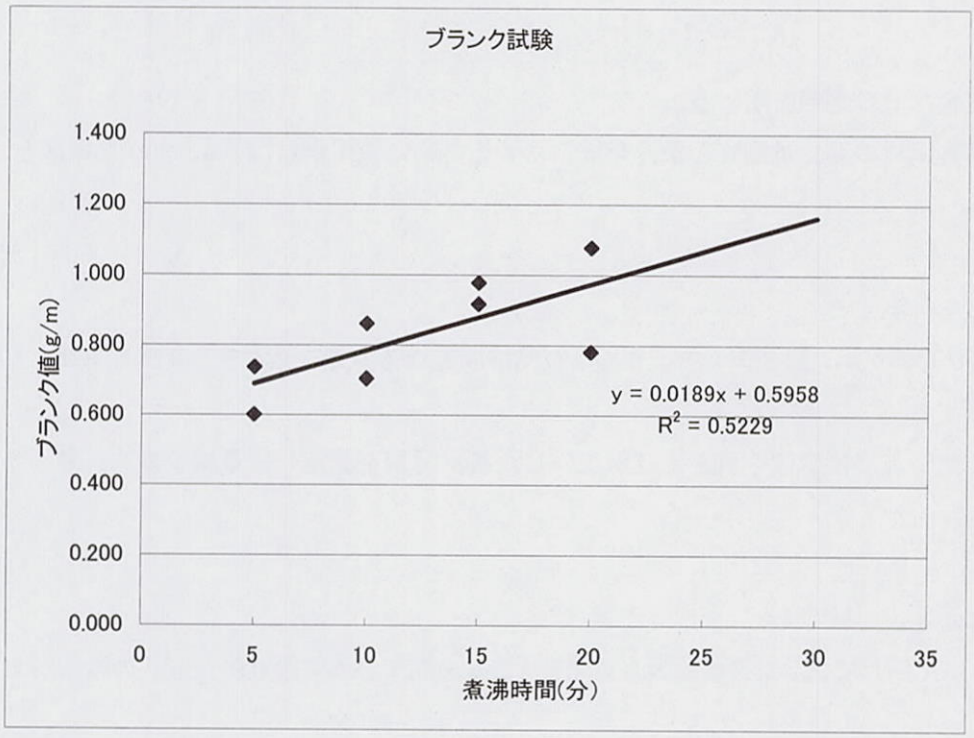
ブランク値(g/m)　＝0.0189×除錆時間（分）+0.5958・・・・・・・（１）

２０分とすると 0.9738(g/m)となる。

実際の錆落としでは，あらかじめ大まかな錆をワイヤーブラシなどでかき落とし，煮沸時間を出来るだけ短くする必要があると思われる。

今回の試験で使用した鋼材は腐食していないＰＣ鋼材を使用して行ったが，最初の５分で黒皮が完全に除去することができた。その後煮沸時間を増やしても煮沸によるピッティングや局所的な欠損は起こらなかっ

た。


ブランク試験
1.400
1.200
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
ブランク値(g/m)
0
5
10
15
20
25
30
35
煮沸時間(分)
y = 0.0189x + 0.5958
R2 = 0.5229

参考資料４

質量減少率測定結果

表-4.1 SPAN3No.1(S3N1)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n1n	1	32.909	32.899	32.896	32.901	50.712	49.992	0.720	0.679	0.08	0.377	計測	O.K		
s3n1n	2	32.013	32.006	32.021	32.013	49.343	48.540	0.803	0.661	0.29	0.377	計測	O.K		
s3n1n	3	32.860	32.844	32.836	32.847	50.628	49.970	0.658	0.678	−0.04	0.377	計測	O.K		
s3n1n	4	32.669	32.668	32.670	32.669	50.354	49.629	0.725	0.674	0.10	0.377				
s3n1n	5	33.130	33.134	33.122	33.129	51.063	50.454	0.609	0.684	−0.15	0.377				
s3n1n	6	33.008	32.997	33.008	33.004	50.870	50.006	0.864	0.681	0.36	0.377				
s3n1n	7	33.052	33.052	33.062	33.055	50.949	50.085	0.864	0.682	0.36	0.377				
s3n1n	8	32.821	32.815	32.825	32.820	50.587	49.868	0.719	0.678	0.08	0.377				
s3n1n	9	33.008	32.997	33.008	33.004	50.870	48.327	2.543	0.681	3.66	0.377				
s3n1n	10	31.984	31.982	31.989	31.985	49.300	50.280	−0.980	0.660	−3.33	0.377				0.14

形状の番号対応
1 :孔食
2 :一面
3 :一面+孔食
4 :溝型
5 :全面
無印 :分類なし

表-4.2 SPAN3No.2(S3N2)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n2n	1	33.169	33.169	33.167	33.168	51.123	50.040	1.083	0.685	0.78	0.260	計測	O.K		
s3n2n	2	33.046	33.057	33.063	33.055	50.949	49.880	1.069	0.682	0.76	0.260	計測	O.K		
s3n2n	3	33.077	33.069	33.086	33.077	50.983	50.236	0.747	0.683	0.13	0.260	計測	外		
s3n2n	4	33.087	33.001	33.088	33.059	50.955	50.246	0.709	0.682	0.05	0.260				
s3n2n	5	33.069	33.069	33.078	33.072	50.975	49.962	1.013	0.683	0.65	0.260				
s3n2n	6	33.033	33.037	33.043	33.038	50.923	50.915	0.008	0.682	−1.32	0.260				
s3n2n	7	33.061	33.061	33.087	33.070	50.972	50.071	0.901	0.683	0.43	0.260				
s3n2n	8	33.015	33.031	33.036	33.027	50.906	49.842	1.064	0.682	0.75	0.260				
s3n2n	9	33.129	33.154	33.134	33.139	51.078	50.121	0.957	0.684	0.53	0.260				
s3n2n	10	33.034	33.044	33.047	33.042	50.929	49.998	0.931	0.682	0.49	0.260				0.33

表-4.3 SPAN3No.3(S3N3)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n3n	1	33.307	33.206	33.205	33.239	51.233	49.451	1.782	0.686	2.14	1.959				
s3n3n	2	33.205	33.207	33.207	33.206	51.182	49.450	1.732	0.686	2.04	1.959	計測	O.K		
s3n3n	3	33.211	33.217	33.221	33.216	51.197	49.440	1.757	0.686	2.09	1.959				
s3n3n	4	33.141	33.148	33.153	33.147	51.091	48.857	2.234	0.684	3.03	1.959				
s3n3n	5	33.306	33.302	33.301	33.303	51.331	50.306	1.025	0.688	0.66	1.959				
s3n3n	6	33.277	33.279	33.270	33.275	51.288	49.536	1.752	0.687	2.08	1.959	計測	O.K		
s3n3n	7	33.156	33.162	33.160	33.159	51.109	49.642	1.467	0.685	1.53	1.959				
s3n3n	8	33.143	33.142	33.145	33.143	51.085	48.967	2.118	0.684	2.81	1.959				
s3n3n	9	33.247	33.254	33.251	33.251	51.251	50.432	0.819	0.686	0.26	1.959	計測	O.K		
s3n3n	10	33.106	33.108	33.106	33.107	51.029	49.465	1.564	0.683	1.73	1.959				1.84

形状の番号対応
1 : 孔食
2 : 一面
3 : 一面+孔食
4 : 溝型
5 : 全面
無印 : 分類なし

表-4.4 SPAN3No.4(S3N4)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n4n	1	32.563	32.556	32.549	32.556	50.180	46.648	3.532	0.672	5.70		NG	O.K		
s3n4n	2	32.327	32.328	32.326	32.327	49.827	43.398	6.429	0.667	11.56		NG	O.K		
s3n4n	3	33.077	33.072	33.069	33.073	50.977	48.315	2.662	0.683	3.88					
s3n4n	4	33.094	33.099	33.097	33.097	51.014	48.110	2.904	0.683	4.35					
s3n4n	5	33.267	33.271	33.269	33.269	51.279	46.300	4.979	0.687	8.37		NG	O.K		
s3n4n	1t	32.943	32.941	32.943	32.942	50.775	45.675	5.100	0.680	8.70		計測	O.K		
s3n4n	2t	33.009	33.017	33.021	33.016	50.889	44.751	6.138	0.682	10.72					
s3n4n	3t	33.204	33.198	33.192	33.198	51.169	49.039	2.130	0.685	2.82		計測	O.K		
s3n4n	4t	33.100	33.109	33.103	33.104	51.025	45.587	5.438	0.683	9.32					
s3n4n	5t	32.842	32.844	32.845	32.844	50.624	45.498	5.126	0.678	8.79		計測	O.K		7.61

表-4.5 SPAN3No.5-1(S3N5)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n5n	1s	33.554	33.553	33.553	33.553	51.717	47.663	4.054	0.693	6.50		計測	O.K		
s3n5n	2s	33.500	33.502	33.504	33.502	51.638	47.186	4.452	0.692	7.28		計測	O.K		
s3n5n	3s	33.558	33.556	33.534	33.549	51.710	40.832	10.878	0.693	19.70		計測	外		
s3n5n	4s	33.520	33.524	33.537	33.527	51.677	47.214	4.463	0.692	7.30		計測	外		10.20
s3n5n	1	33.132	33.132	33.132	33.132	51.068	43.299	7.769	0.323	14.58		計測	O. K	1	
s3n5n	2	25.886	25.882	25.878	25.882	39.893	37.413	2.480	0.252	5.58			O. K	1	
s3n5n	3	25.834	25.846	25.840	25.840	39.828	37.874	1.954	0.252	4.27			O. K	1	
s3n5n	4	25.923	25.924	25.922	25.923	39.956	37.632	2.324	0.252	5.18			外	1	
s3n5n	5	25.956	25.970	25.971	25.966	40.022	39.050	0.972	0.253	1.80			O. K	1	
s3n5n	6	33.116	33.124	33.122	33.121	51.051	47.924	3.127	0.323	5.49		計測	O. K	2	
s3n5n	7	25.699	25.697	25.702	25.699	39.611	33.812	5.799	0.250	14.01			O. K	2	
s3n5n	8	25.907	25.911	25.910	25.909	39.935	36.374	3.561	0.252	8.29			外	3	
s3n5n	9	25.898	25.882	25.908	25.896	39.915	36.423	3.492	0.252	8.12			外	3	
s3n5n	10	26.081	26.050	26.073	26.068	40.180	35.311	4.869	0.254	11.49			外	3	
s3n5n	11	26.059	26.057	26.061	26.059	40.166	36.120	4.046	0.254	9.44			外	3	
s3n5n	12	25.890	25.879	25.880	25.883	39.895	37.199	2.696	0.252	6.13			O. K	3	
s3n5n	13	25.873	25.875	25.857	25.868	39.871	36.794	3.077	0.252	7.09			O. K	3	
s3n5n	14	26.004	26.002	25.999	26.002	40.078	36.201	3.877	0.253	9.04			外	3	
s3n5n	15	25.867	25.881	25.884	25.877	39.885	36.304	3.581	0.252	8.35			O. K	3	
s3n5n	16	25.953	25.948	25.958	25.953	40.002	33.913	6.089	0.253	14.59			外	3	
s3n5n	17	25.812	25.836	25.852	25.833	39.817	36.864	2.953	0.252	6.78			外	3	
s3n5n	18	25.811	25.798	25.802	25.804	39.773	37.651	2.122	0.251	4.70			O. K	3	
s3n5n	19	25.776	25.780	25.774	25.777	39.731	34.445	5.286	0.251	12.67			外	4	
s3n5n	20	25.950	25.951	25.953	25.951	39.999	32.751	7.248	0.253	17.49			O. K	4	
s3n5n	21	25.975	25.970	25.966	25.970	40.029	36.320	3.709	0.253	8.63			O. K	4	
s3n5n	22	25.882	25.881	25.884	25.882	39.893	35.649	4.244	0.252	10.01			O. K	4	
s3n5n	23	25.824	25.823	25.812	25.820	39.797	33.054	6.743	0.251	16.31			外	4	
s3n5n	24	25.820	25.819	25.819	25.819	39.796	32.886	6.910	0.251	16.73			O. K	4	
s3n5n	25	25.601	25.604	25.599	25.601	39.460	34.657	4.803	0.249	11.54			O. K	4	
s3n5n	26	26.003	26.016	26.017	26.012	40.093	32.306	7.787	0.253	18.79			外	4	
s3n5n	27	25.926	25.945	25.935	25.935	39.975	37.895	2.080	0.253	4.57			O. K	4	
s3n5n	28	25.939	25.941	25.942	25.941	39.984	38.871	1.113	0.253	2.15			O. K	4	
s3n5n	29	25.986	25.992	26.022	26.000	40.075	34.665	5.410	0.253	12.87			O. K	5	
s3n5n	30	25.945	25.939	25.945	25.943	39.987	32.395	7.592	0.253	18.35			O. K	5	
s3n5n	31	32.768	32.774	32.754	32.765	50.502	47.594	2.908	0.319	5.13		計測	O. K	5	
s3n5n	32	32.765	32.769	32.762	32.765	50.502	49.156	1.346	0.319	2.03		計測	外	5	9.44

形状の番号対応
1 : 孔食
2 : 一面
3 : 一面+孔食
4 : 溝型
5 : 全面
無印 : 分類なし

表-4.6 SPAN3No.5-2(S3N5-2)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n5-2	1	33.028	33.030	33.038	33.032	50.914	39.451	11.463	0.322	21.88	5.675				
s3n5-2	2	32.968	32.977	32.982	32.976	50.827	37.418	13.409	0.321	25.75	5.675				
s3n5-2	3	33.041	33.040	33.037	33.039	50.924	38.352	12.572	0.322	24.06	5.675				
s3n5-2	4	32.900	32.920	32.907	32.909	50.724	33.154	17.570	0.320	34.01	5.675				
s3n5-2	5	33.005	32.998	32.995	32.999	50.863	41.246	9.617	0.321	18.28	5.675				24.80

形状の番号対応
1 :孔食
2 :一面
3 :一面+孔食
4 :溝型
5 :全面
無印 :分類なし

表-4.7 SPAN3No.6-1(S3N6-1)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n6-1	1	33.156	33.145	33.146	33.149	51.094	50.505	0.589	0.323	0.52	0.240				
s3n6-1	2	33.116	33.138	33.134	33.129	51.063	50.598	0.465	0.323	0.28	0.240				
s3n6-1	3	33.014	33.027	32.994	33.012	50.883	50.366	0.517	0.321	0.38	0.240				
s3n6-1	4	33.087	33.099	33.097	33.094	51.009	50.446	0.563	0.322	0.47	0.240				
s3n6-1	5	33.101	33.098	33.101	33.100	51.018	50.677	0.341	0.322	0.04	0.240				0.34

表-4.8 SPAN3No.6-2(S3N6)腐食量計測結果その1

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n6n	1	32.894	32.897	32.896	32.896	50.704	48.370	2.334	0.320	3.97	4.054	計測	O. K	1	
s3n6n	2	32.973	32.957	32.958	32.963	50.807	49.063	1.744	0.321	2.80	4.054	計測	O. K	1	
s3n6n	3	32.806	32.813	32.810	32.810	50.571	49.706	0.865	0.320	1.08	4.054	計測	外	1	
s3n6n	4	32.792	32.791	32.791	32.791	50.542	49.908	0.634	0.319	0.62	4.054	計測	O. K	1	
s3n6n	5	26.034	26.029	26.028	26.030	40.121	39.453	0.668	0.253	1.03	4.054		O. K	1	
s3n6n	6	25.858	25.857	25.851	25.855	39.851	39.365	0.486	0.252	0.59	4.054		O. K	1	
s3n6n	7	32.887	32.892	32.891	32.890	50.695	49.483	1.212	0.320	1.76	4.054	計測	O. K	4	
s3n6n	8	26.067	26.065	26.070	26.067	40.178	39.488	0.690	0.254	1.09	4.054		O. K	4	
s3n6n	9	26.074	26.085	26.084	26.081	40.200	38.376	1.824	0.254	3.91	4.054		O. K	4	
s3n6n	10	25.932	25.933	25.933	25.933	39.972	39.289	0.683	0.253	1.08	4.054		外	4	
s3n6n	11	25.902	25.903	25.896	25.900	39.921	39.002	0.919	0.252	1.67	4.054		O. K	4	
s3n6n	12	25.832	25.833	25.833	25.833	39.817	39.265	0.552	0.252	0.75	4.054		O. K	4	
s3n6n	13	25.621	25.624	25.623	25.623	39.494	38.853	0.641	0.250	0.99	4.054		O. K	4	
s3n6n	14	25.907	25.894	25.911	25.904	39.927	39.526	0.401	0.252	0.37	4.054		O. K	4	
s3n6n	15	25.792	25.793	25.789	25.791	39.753	38.553	1.200	0.251	2.39	4.054		外	4	
s3n6n	16	25.942	25.942	25.947	25.944	39.989	39.354	0.635	0.253	0.96	4.054		O. K	4	
s3n6n	17	25.864	25.864	25.866	25.865	39.867	39.229	0.638	0.252	0.97	4.054		外	4	
s3n6n	18	32.947	32.945	32.947	32.946	50.781	49.909	0.872	0.321	1.09	4.054	計測	O. K	5	
s3n6n	19	25.937	25.935	25.934	25.935	39.975	39.616	0.359	0.253	0.27	4.054		O. K	5	
s3n6n	20	25.859	25.860	25.867	25.862	39.862	39.361	0.501	0.252	0.63	4.054		O. K	5	
s3n6n	21	26.054	26.053	26.047	26.051	40.153	39.547	0.606	0.254	0.88	4.054		なし	5	
s3n6n	22	25.991	25.994	25.994	25.993	40.064	39.510	0.554	0.253	0.75	4.054		なし	5	
s3n6n	23	25.874	25.872	25.886	25.877	39.885	39.297	0.588	0.252	0.84	4.054		なし	5	
s3n6n	24	25.924	25.916	25.908	25.916	39.945	39.536	0.409	0.252	0.39	4.054		なし	5	※

形状の番号対応
1 : 孔食
2 : 一面
3 : 一面+孔食
4 : 溝型
5 : 全面
無印 : 分類なし

※ 平均質量減少率はその2に記載

表-4.8 SPAN3No.6-2(S3N6)腐食量計測結果その2

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n6n	31	32.869	32.861	32.868	32.866	50.658	49.467	1.191	0.320	1.72	4.054	計測	O. K	1	
s3n6n	32	32.992	32.991	32.994	32.992	50.852	49.286	1.566	0.321	2.45	4.054	計測	O. K	1	
s3n6n	33	32.935	32.937	32.942	32.938	50.769	48.698	2.071	0.321	3.45	4.054	計測	O. K	1	
s3n6n	34	32.969	32.967	32.962	32.966	50.812	47.929	2.883	0.321	5.04	4.054	計測	O. K	1	
s3n6n	35	25.994	25.993	25.997	25.995	40.067	38.444	1.623	0.253	3.42	4.054		O. K	1	
s3n6n	36	25.998	25.999	26.001	25.999	40.073	38.935	1.138	0.253	2.21	4.054		O. K	1	
s3n6n	37	25.910	25.908	25.901	25.906	39.930	38.439	1.491	0.252	3.10	4.054		O. K	1	
s3n6n	38	25.913	25.912	25.911	25.912	39.939	38.243	1.696	0.252	3.61	4.054		O. K	1	
s3n6n	39	25.976	25.985	25.989	25.983	40.049	37.442	2.607	0.253	5.88	4.054		O. K	1	
s3n6n	40	32.764	32.761	32.764	32.763	50.499	48.342	2.157	0.319	3.64	4.054	計測	O. K	3	
s3n6n	41	32.837	32.843	32.837	32.839	50.616	48.574	2.042	0.320	3.40	4.054	計測	外	3	
s3n6n	42	32.896	32.899	32.896	32.897	50.705	48.223	2.482	0.320	4.26	4.054	計測	O. K	3	
s3n6n	43	32.952	32.954	32.952	32.953	50.792	49.865	0.927	0.321	1.19	4.054		外	4	
s3n6n	44	25.984	25.981	25.991	25.985	40.052	39.033	1.019	0.253	1.91	4.054		O. K	4	
s3n6n	45	25.947	25.951	25.957	25.952	40.001	38.653	1.348	0.253	2.74	4.054		O. K	4	
s3n6n	46	32.962	32.956	32.963	32.960	50.803	49.091	1.712	0.321	2.74	4.054	計測	外	5	
s3n6n	47	32.893	32.894	32.892	32.893	50.699	48.906	1.793	0.320	2.90	4.054	計測	O. K	5	
s3n6n	48	25.962	25.971	25.970	25.968	40.026	39.304	0.722	0.253	1.17	4.054		O. K	5	1.99

形状の番号対応
1 : 孔食
2 : 一面
3 : 一面+孔食
4 : 溝型
5 : 全面
無印 : 分類なし

表-4.9 SPAN3No.7-1,2(S3N7,S3N7-2)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n7n	1	32.836	32.839	32.838	32.838	50.615	38.196	12.419	0.320	23.90	10.255	計測	O. K	2	
s3n7n	2	25.758	25.750	25.746	25.751	39.691	32.747	6.944	0.251	16.86	10.255		外	2	
s3n7n	3	25.786	25.786	25.782	25.785	39.743	27.429	12.314	0.251	30.35	10.255		O. K	2	
s3n7n	4	25.812	25.813	25.812	25.812	39.785	25.271	14.514	0.251	35.85	10.255		O. K	2	
s3n7n	5	25.765	25.760	25.758	25.761	39.706	27.497	12.209	0.251	30.12	10.255		外	2	
s3n7n	6	32.631	32.630	32.632	32.631	50.295	27.626	22.669	0.318	44.44	10.255	計測	O. K	3	
s3n7n	7	25.933	25.932	25.928	25.931	39.968	31.704	8.264	0.253	20.04	10.255		外	3	
s3n7n	8	25.880	25.877	25.867	25.875	39.882	25.977	13.905	0.252	34.23	10.255		O. K	3	
s3n7n	9	25.782	25.783	25.780	25.782	39.739	28.067	11.672	0.251	28.74	10.255		O. K	3	
s3n7n	10	25.901	25.910	25.908	25.906	39.930	29.559	10.371	0.252	25.34	10.255		O. K	3	
s3n7n	11	25.845	25.833	25.848	25.842	39.831	27.480	12.351	0.252	30.38	10.255		O. K	3	29.11
s3n7-2	1	32.887	32.883	32.886	32.885	50.687	24.287	26.400	0.320	51.45	9.403				
s3n7-2	2	32.844	32.830	32.832	32.835	50.610	25.579	25.031	0.320	48.83	9.403				
s3n7-2	3	32.748	32.760	32.748	32.752	50.482	43.794	6.688	0.319	12.62	9.403				
s3n7-2	4	32.652	32.659	32.666	32.659	50.339	30.792	19.547	0.318	38.20	9.403				
s3n7-2	5	32.912	32.931	32.923	32.922	50.744	28.736	22.008	0.321	42.74	9.403				38.77

形状の番号対応
1 :孔食
2 :一面
3 :一面+孔食
4 :溝型
5 :全面
無印 :分類なし

表-4.10 SPAN3No.8-1,2(S3N8-1,2)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n8-1	1	32.934	32.932	32.924	32.930	50.756	49.876	0.880	0.321	1.10	2.359				
s3n8-1	2	32.934	32.927	32.925	32.929	50.755	49.867	0.888	0.321	1.12	2.359				
s3n8-1	3	32.864	32.869	32.866	32.866	50.658	49.297	1.361	0.320	2.05	2.359				
s3n8-1	4	32.815	32.825	32.827	32.822	50.590	49.570	1.020	0.320	1.38	2.359				
s3n8-1	5	32.920	32.920	32.919	32.920	50.741	49.358	1.383	0.321	2.09	2.359				1.548
s3n8-2	1	33.031	33.047	33.052	33.043	50.930	50.526	0.404	0.161	0.48	0.208				
s3n8-2	2	32.941	32.950	32.945	32.945	50.779	50.359	0.420	0.160	0.51	0.208				
s3n8-2	3	33.085	33.083	33.071	33.080	50.988	50.301	0.687	0.161	1.03	0.208				
s3n8-2	4	33.073	33.078	33.079	33.077	50.983	50.390	0.593	0.161	0.85	0.208				
s3n8-2	5	32.990	32.992	32.993	32.992	50.852	50.455	0.397	0.161	0.46	0.208				0.666

表-4.11　SPAN3No.9-1,2(S3N9-1,2)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n9-1	1	33.048	33.042	33.049	33.046	50.935	50.235	0.700	0.322	0.74	0.168				
s3n9-1	2	33.103	33.100	33.098	33.100	51.018	50.348	0.670	0.322	0.68	0.168				
s3n9-1	3	33.079	33.062	33.059	33.067	50.967	50.409	0.558	0.322	0.46	0.168				
s3n9-1	4	33.080	33.088	33.090	33.086	50.997	50.317	0.680	0.322	0.70	0.168				
s3n9-1	5	32.964	32.966	32.964	32.965	50.810	50.058	0.752	0.321	0.85	0.168				0.686
s3n9-2	1	32.900	32.908	32.907	32.905	50.718	50.136	0.582	0.160	0.83	0.200				
s3n9-2	2	32.830	32.825	32.823	32.826	50.596	50.111	0.485	0.160	0.64	0.200				
s3n9-2	3	32.844	32.837	32.838	32.840	50.618	50.094	0.524	0.160	0.72	0.200				
s3n9-2	4	32.934	32.933	32.950	32.939	50.770	50.167	0.603	0.160	0.87	0.200				
s3n9-2	5	32.940	32.942	32.937	32.940	50.772	50.150	0.622	0.160	0.91	0.200				0.794

形状の番号対応
1：孔食
2：一面
3：一面+孔食
4：溝型
5：全面
無印：分類なし

表-4.12　SPAN3No.10-1,2(S3N10-1,2)腐食量計測結果

名前	no.	長さ(cm)				腐食前質量(計算値)(g)	腐食後質量(g)	質量減少量(g)	ブランク値(g)	質量減少率(%)	ｸﾞﾗｳﾄ塩分量(cl^-kg/m^3)	形状計測	引張試験	形状	平均質量減少率
		L1	L2	L3	平均										
s3n10-1	1	32.952	32.946	32.954	32.951	50.789	50.274	0.515	0.321	0.38	0.205				
s3n10-1	2	32.836	32.827	32.832	32.832	50.605	50.021	0.584	0.320	0.52	0.205				
s3n10-1	3	32.850	32.850	32.848	32.849	50.631	49.844	0.787	0.320	0.92	0.205				
s3n10-1	4	32.834	32.831	32.824	32.830	50.602	50.074	0.528	0.320	0.41	0.205				
s3n10-1	5	32.876	32.877	32.879	32.877	50.675	49.982	0.693	0.320	0.74	0.205				0.59
s3n10-2	1	32.666	32.661	32.662	32.663	50.345	49.841	0.504	0.318	0.37	0.249				
s3n10-2	2	32.944	32.942	32.940	32.942	50.775	50.218	0.557	0.321	0.47	0.249				
s3n10-2	3	32.857	32.857	32.860	32.858	50.645	49.808	0.837	0.320	1.02	0.249				
s3n10-2	4	32.847	32.850	32.835	32.844	50.624	49.827	0.797	0.320	0.94	0.249				
s3n10-2	5	32.976	32.978	32.975	32.976	50.827	49.993	0.834	0.321	1.01	0.249				0.76

参考資料５

引張試験結果（シリーズ１）

表－5.1　No. 1(S3N1)引張試験結果

名前	質量減少率	実験値						形状	残存率					
		弾性係数	0.2%耐力荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び		弾性係数	耐力1荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び
	%	kN/mm^2	kN	kN	%	kN	%							
s3n1n1	0.1	212.2	31.2	34.4	4.60	27.3	6.56		1.09	0.98	1.01	0.99	1.07	0.93
s3n1n2	0.3	201.3	31.3	33.8	4.15	25.6	6.23		1.03	0.98	0.99	0.89	1.00	0.88
s3n1n3	0.0	197.6	32.2	34.2	4.79	25.9	6.97		1.01	1.01	1.00	1.03	1.01	0.99

表－5.2　No. 2(S3N2)引張試験結果

名前	質量減少率	実験値						形状	残存率					
		弾性係数	0.2%耐力荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び		弾性係数	耐力1荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び
	%	kN/mm^2	kN	kN	%	kN	%							
s3n2n1	0.8	201.7	30.3	32.7	4.63	26.4	6.78		1.03	0.95	0.96	1.00	1.03	0.96
s3n2n2	0.8	199.7	30.4	32.7	4.39	25.7	6.43		1.02	0.96	0.96	0.94	1.00	0.91
s3n2n3														

表－5.3　No. 3(S3N3)引張試験結果

名前	質量減少率	実験値						形状	残存率					
		弾性係数	0.2%耐力荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び		弾性係数	耐力1荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び
	%	kN/mm^2	kN	kN	%	kN	%							
s3n3n2	2.0	190.7	29.7	32.4	4.69	24.2	6.51		0.98	0.94	0.95	1.01	0.95	0.92
s3s3n6	2.1	201.2	29.5	31.7	3.56	23.9	4.88		1.03	0.93	0.93	0.77	0.93	0.69
s3n3n9	0.3	190.3	30.8	33.1	5.53	25.3	7.05		0.98	0.97	0.97	1.19	0.99	1.00

表－5.4　No. 4(S3N4)引張試験結果

名前	質量減少率	実験値						形状	残存率					
		弾性係数	0.2%耐力荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び		弾性係数	耐力1荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び
	%	kN/mm^2	kN	kN	%	kN	%							
s3n4n1	5.7	180.4	27.9	29.2	1.83	25.7	2.43		0.92	0.88	0.86	0.39	1.00	0.35
s3n4n2	11.6	175.9	23.9	23.9	0.89	21.7	1.07		0.90	0.75	0.70	0.19	0.85	0.15
s3n4n5	8.4	186.0	24.7	24.9	0.99	23.8	1.28		0.95	0.78	0.73	0.21	0.93	0.18
s3n4n1t	8.7	174.5	25.0	25.0	0.93	20.0	1.71		0.89	0.79	0.73	0.20	0.78	0.24
s3n4n3t	2.8	211.4	30.0	30.9	1.34	26.1	2.02		1.08	0.95	0.91	0.29	1.02	0.29
s3n4n4t														
s3n4n5t	8.8	173.2	25.9	27.4	1.89	22.1	2.76		0.89	0.82	0.81	0.41	0.86	0.39

表－5.5 No. 5-1(S3N5)引張試験結果

名前	質量減少率	実験値						形状	残存率					
		弾性係数	0.2%耐力荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び		弾性係数	耐力1荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び
	%	kN/mm^2	kN	kN	%	kN	%							
s3n5n1s	6.5	182.4	28.5	29.4	1.43	24.0	2.31		0.93	0.90	0.86	0.31	0.94	0.33
s3n5n2s	7.3	181.2	24.9	24.9	0.94	20.9	1.60		0.93	0.78	0.73	0.20	0.82	0.23
s3n5n3s														
s3n5n4s														
s3n5n1	14.6	177.2	25.3	25.6	1.15	21.4	1.76	1	0.91	0.80	0.75	0.25	0.84	0.25
s3n5n2	5.6	168.4	25.0	25.2	0.90	22.6	1.34	1	0.86	0.79	0.74	0.19	0.88	0.19
s3n5n3	4.3	185.3	31.4	32.2	1.47	25.5	2.46	1	0.95	0.99	0.95	0.32	1.00	0.35
s3n5n4	5.2							1						
s3n5n5	1.8	201.5	30.4	31.1	1.18	27.0	1.83	1						
s3n5n6	5.5	160.2	27.9	29.0	1.47	23.1	2.27	2	0.82	0.88	0.85	0.32	0.90	0.32
s3s5n7	14.0	160.7	23.2	24.2	1.45	21.6	1.92	2	0.82	0.73	0.71	0.31	0.84	0.27
s3n5n8	8.3							3						
s3n5n9	8.1							3						
s3n5n10	11.5							3						
s3n5n11	9.4							3						
s3n5n12	6.1	174.5	29.3	29.7	1.18	29.7	1.28	3	0.89	0.92	0.87	0.25	1.16	0.18
s3n5n13	7.1	186.8	29.4	30.8	1.58	25.4	2.41	3	0.96	0.93	0.90	0.34	0.99	0.34
s3n5n14	9.0							3						
s3n5n15	8.4	182.7	27.7	28.7	1.65	25.3	2.19	3	0.94	0.87	0.84	0.36	0.99	0.31
s3n5n16	14.6							3						
s3n5n17	6.8							3						
s3n5n18	4.7	185.7	29.9	31.1	1.96	24.4	3.06	3	0.95	0.94	0.91	0.42	0.95	0.43
s3n5n19	12.7							4						
s3n5n20	17.5	152.3	24.1	25.5	1.76	22.4	2.29	4	0.78	0.76	0.75	0.38	0.88	0.33
s3n5n21	8.6	196.4	27.1	27.4	1.09	25.2	1.50	4	1.01	0.85	0.80	0.24	0.98	0.21
s3n5n22	10.0	177.6	25.9	26.5	1.27	25.5	1.49	4	0.91	0.82	0.78	0.27	1.00	0.21
s3n5n23	16.3							4						
s3n5n24	16.7	152.6	24.6	24.9	1.24	20.2	1.99	4	0.78	0.77	0.73	0.27	0.79	0.28
s3n5n25	11.5	159.6	27.1	27.3	1.27	24.8	1.72	4	0.82	0.85	0.80	0.27	0.97	0.24
s3n5n26	18.8							4						
s3n5n27	4.6	197.4	29.4	30.7	2.16	24.2	3.12	4	1.01	0.93	0.90	0.46	0.94	0.44
s3n5n28	2.2	182.5	32.3	33.5	2.32	26.8	3.27	4	0.94	1.02	0.98	0.50	1.04	0.46
s3n5n29	12.9	159.9	25.4	27.0	1.86	22.2	2.71	5	0.82	0.80	0.79	0.40	0.87	0.38
s3n5n30	18.4	114.6	21.5	21.6	1.25	17.7	1.91	5	0.59	0.68	0.63	0.27	0.69	0.27
s3n5n31	5.1	169.5	30.0	31.5	2.80	24.6	3.80	5	0.87	0.94	0.92	0.60	0.96	0.54
s3n5n32	2.0							5						

表－5.6 No. 6-2(S3N6)引張試験結果

名前	質量減少率	実験値						形状	残存率					
		弾性係数	0.2%耐力荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び		弾性係数	耐力1荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び
	%	kN/mm^2	kN	kN	%	kN	%							
s3n6n1	4.0	202.3	28.0	28.4	1.07	27.9	1.24	1	1.04	0.88	0.83	0.23	1.09	0.18
s3n6n2	2.8	185.6	29.1	30.2	1.39	28.9	1.69	1	0.95	0.92	0.89	0.30	1.13	0.24
s3n6n3	1.1							1						
s3n6n4	0.6	210.3	31.3	33.9	3.54	25.6	4.69	1	1.08	0.99	1.00	0.76	1.00	0.67
s3n6n5	1.0	210.5	28.9	29.3	1.03	29.2	0.98	1	1.08	0.91	0.86	0.22	1.14	0.14
s3n6n6	0.6	192.1	31.1	34.4	3.74	26.9	4.88	1	0.98	0.98	1.01	0.80	1.05	0.69
s3n6n7	1.8	183.4	31.3	33.4	3.42	31.2	3.80	4	0.94	0.99	0.98	0.74	1.22	0.54
s3n6n8	1.1	187.6	32.3	33.9	3.52	26.2	4.71	4	0.96	1.02	0.99	0.76	1.02	0.67
s3n6n9	3.9	189.0	30.0	32.2	2.82	28.1	3.54	4	0.97	0.94	0.94	0.61	1.10	0.50
s3n6n10	1.1							4						
s3n6n11	1.7	201.4	31.4	33.7	3.38	26.0	4.68	4	1.03	0.99	0.99	0.73	1.02	0.66
s3n6n12	0.8	206.8	31.4	33.7	3.17	26.2	4.25	4	1.06	0.99	0.99	0.68	1.02	0.60
s3n6n13	1.0	210.6	31.2	34.1	4.50	26.0	5.98	4	1.08	0.98	1.00	0.97	1.01	0.85
s3n6n14	0.4	204.5	31.3	34.4	5.59	26.0	7.60	4	1.05	0.99	1.01	1.20	1.01	1.08
s3n6n15	2.4	197.7	30.9	32.9	2.55	26.3	2.41	4	1.01	0.97	0.97	0.55	1.03	0.34
s3n6n16	1.0	205.8	31.4	34.1	3.66	27.0	4.69	4	1.05	0.99	1.00	0.79	1.05	0.67
s3n6n17	1.0	196.3	31.5	33.6	2.43	30.2	2.37	4	1.01	0.99	0.98	0.52	1.18	0.34
s3n6n18	1.1	202.6	31.6	34.6	4.85	26.9	6.37	5	1.04	0.99	1.02	1.04	1.05	0.90
s3n6n19	0.3	192.6	32.4	34.9	5.28	26.5	7.30	5	0.99	1.02	1.02	1.14	1.03	1.04
s3n6n20	0.6	197.5	31.3	34.2	5.52	25.6	7.35	5	1.01	0.98	1.00	1.19	1.00	1.04

表－5.7　No. 6-2(S3N6)引張試験結果

名前	質量減少率	実験値						形状	残存率					
		弾性係数	0.2%耐力荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び		弾性係数	耐力1荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び
	%	kN/mm^2	kN	kN	%	kN	%							
s3n6n31	1.7	194.0	30.6	31.5	1.39	27.0	2.04	1	0.99	0.96	0.92	0.30	1.05	0.29
s3n6n32	2.5	188.1	25.9	26.0	0.98	25.4	1.13	1	0.96	0.82	0.76	0.21	0.99	0.16
s3n6n33	5.0	196.3	28.5	29.6	1.43	28.8	1.71	1	1.01	0.90	0.87	0.31	1.12	0.24
s3n6n34	3.5			9.8	0.30	9.8	0.30	1			0.29	0.07	0.38	0.04
s3n6n35	3.4	184.5	25.5	25.5	1.00	22.6	1.49	1	0.95	0.80	0.75	0.22	0.88	0.21
s3n6n36	2.2	188.0	30.6	31.8	1.82	28.3	2.46	1	0.96	0.96	0.93	0.39	1.10	0.35
s3n6n37	3.1	203.7	29.1	30.6	1.97	26.0	2.65	1	1.04	0.92	0.90	0.42	1.02	0.38
s3n6n38	3.6	195.2	28.7	30.4	1.57	25.8	2.32	1	1.00	0.90	0.89	0.34	1.01	0.33
s3n6n39	5.9	167.1	23.2	23.7	1.14	22.5	1.45	1	0.86	0.73	0.70	0.25	0.88	0.21
s3n6n40	3.6	193.6	27.0	27.6	1.17	26.7	1.43	3	0.99	0.85	0.81	0.25	1.04	0.20
s3n6n41	3.4	193.0	27.8	28.0	0.94	25.4	0.87	3	0.99	0.88	0.82	0.20	0.99	0.12
s3n6n42	4.3	206.8	28.6	29.7	1.43	28.7	1.69	3	1.06	0.90	0.87	0.31	1.12	0.24
s3n6n43	1.2	211.5	31.3	33.1	2.24	29.2	2.14	4	1.08	0.98	0.97	0.48	1.14	0.30
s3n6n44	1.9	192.2	30.7	32.3	1.79	27.9	2.44	4	0.98	0.97	0.95	0.39	1.09	0.35
s3n6n45	2.7	198.8	30.1	31.3	1.44	27.2	2.11	4	1.02	0.95	0.92	0.31	1.06	0.30
s3n6n46	2.7	185.3	29.2	30.7	1.89	23.9	2.87	5	0.95	0.92	0.90	0.41	0.93	0.41
s3n6n47	2.9	192.9	30.5	31.3	1.20	27.6	1.17	5	0.99	0.96	0.92	0.26	1.08	0.17
s3n6n48	1.2	172.5	31.0	33.2	3.45	25.1	4.50	5	0.88	0.98	0.98	0.74	0.98	0.64

表－5.8　No. 7-1(S3N7)引張試験結果

名前	質量減少率	実験値						形状	残存率					
		弾性係数	0.2%耐力荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び		弾性係数	耐力1荷重	最大荷重	均一伸び	破断荷重	破断伸び
	%	kN/mm^2	kN	kN	%	kN	%							
s3n7n1	23.9	156.9	22.3	22.4	1.04	19.3	1.55	2	0.80	0.70	0.66	0.22	0.75	0.22
s3n7n2	16.9	183.1		27.6	0.87	24.2	0.78	2	0.94	0.00	0.81	0.19	0.95	0.11
s3n7n3	30.4	121.0	18.6	19.4	1.49	16.2	2.14	2	0.62	0.58	0.57	0.32	0.63	0.30
s3n7n4	35.9	115.8	16.5	16.5	1.00	13.3	1.58	2	0.59	0.52	0.49	0.22	0.52	0.22
s3n7n5	30.1	135.5		19.7	0.76	17.1	0.60	2	0.69		0.58	0.16	0.67	0.09
s3n7n6	44.4	138.1	21.8	22.7	1.48	20.6	1.91	3	0.71	0.69	0.66	0.32	0.80	0.27
s3n7n7	20.0	148.7	26.7	26.8	1.15	21.6	1.02	3	0.76	0.84	0.79	0.25	0.84	0.14
s3n7n8	34.2	90.0		6.3	0.35	6.3	0.35	3	0.46		0.18	0.08	0.25	0.05
s3n7n9	28.7	125.6	19.5	20.7	1.71	18.2	2.12	3	0.64	0.61	0.61	0.37	0.71	0.30
s3n7n10	25.3	131.2	18.2	18.4	0.92	18.4	0.92	3	0.67	0.57	0.54	0.20	0.72	0.13
s3n7n11	30.4	132.1		10.7	0.53	10.5	0.50	3	0.68		0.31	0.11	0.41	0.07

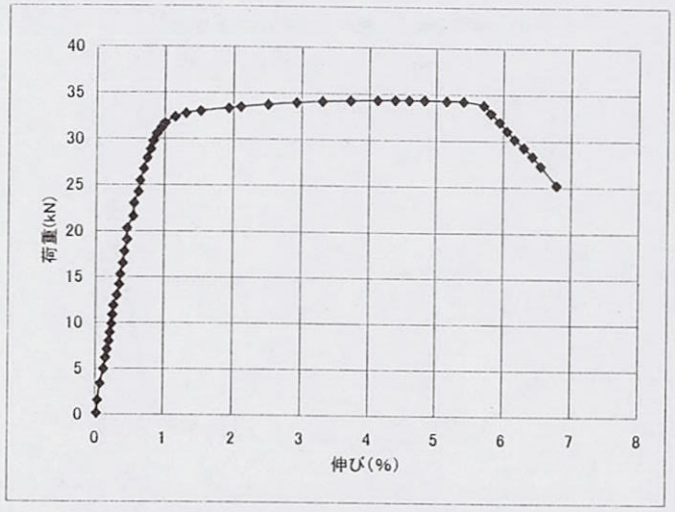


図-5.1 荷重-伸び曲線　s3n1n1 質量減少率：0.08

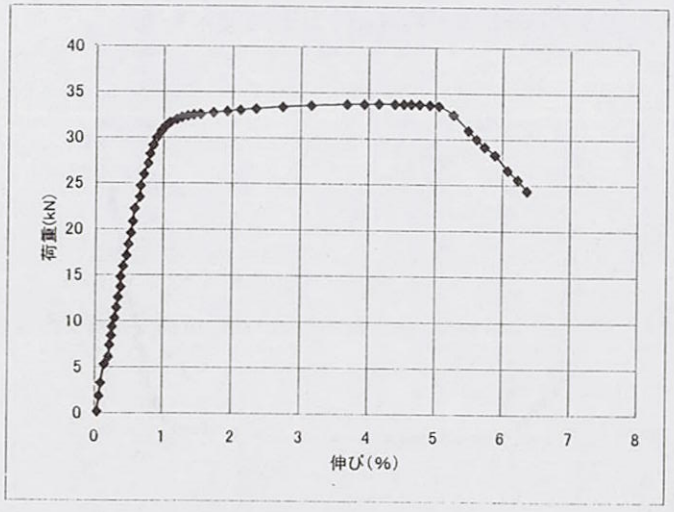


図-5.2 荷重-伸び曲線　s3n1n2 質量減少率：0.29

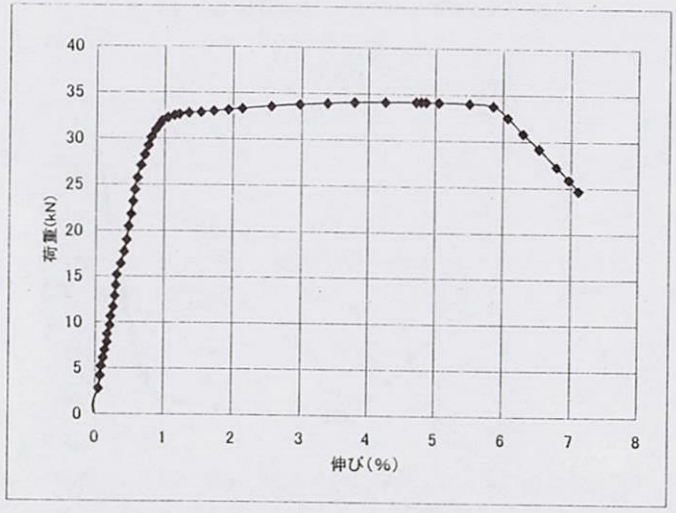


図-5.3 荷重-伸び曲線　s3n1n3 質量減少率：-0.04

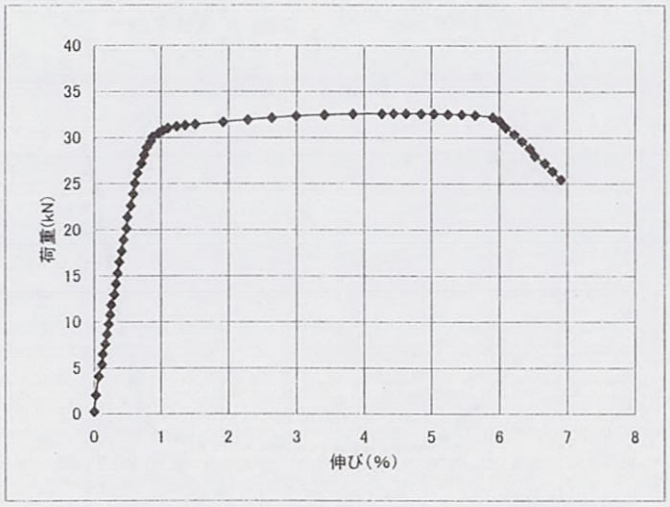


図-5.4 荷重-伸び曲線　s3n2n1 質量減少率：0.78

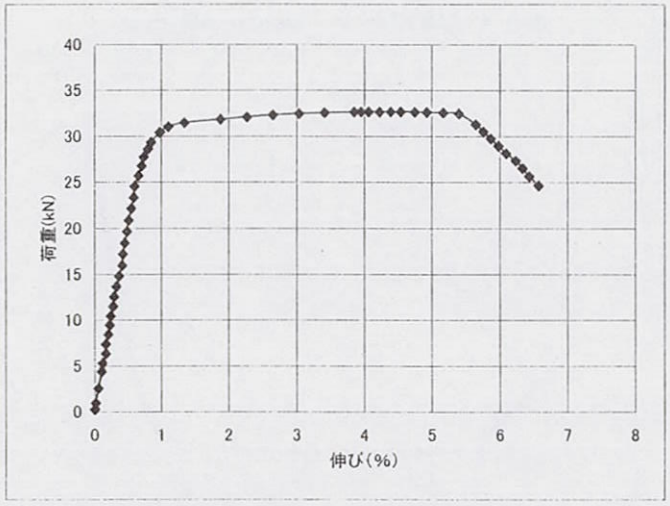


図-5.5 荷重-伸び曲線　s3n2n2 質量減少率：0.76

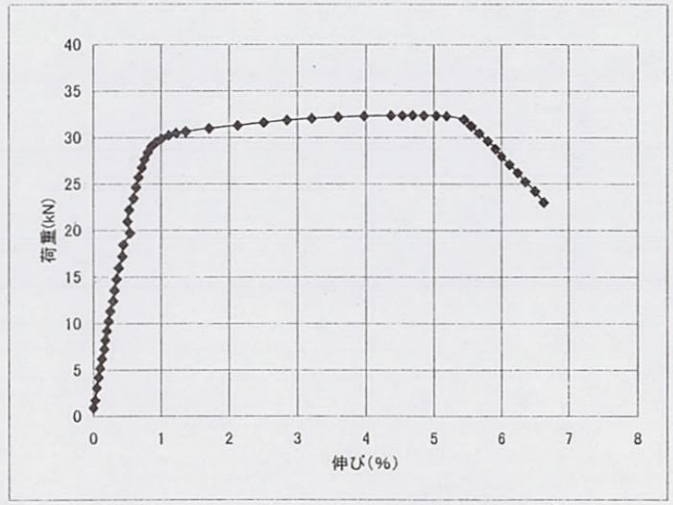


図-5.6 荷重-伸び曲線　s3n3n1 質量減少率：2.04

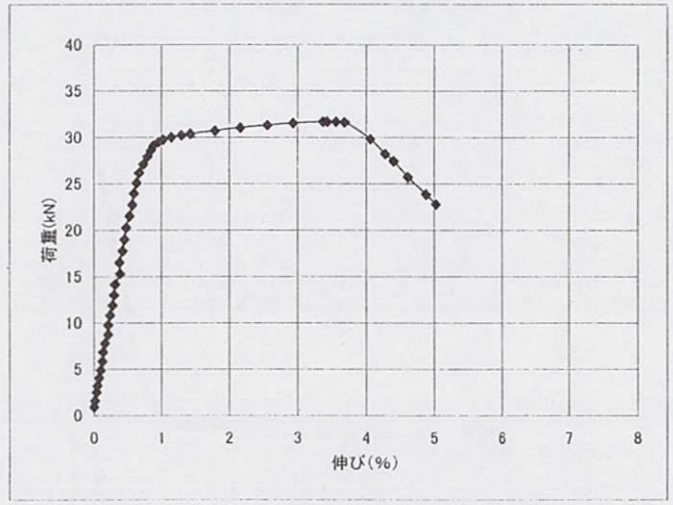


図-5.7 荷重-伸び曲線　s3n3n6 質量減少率：2.08

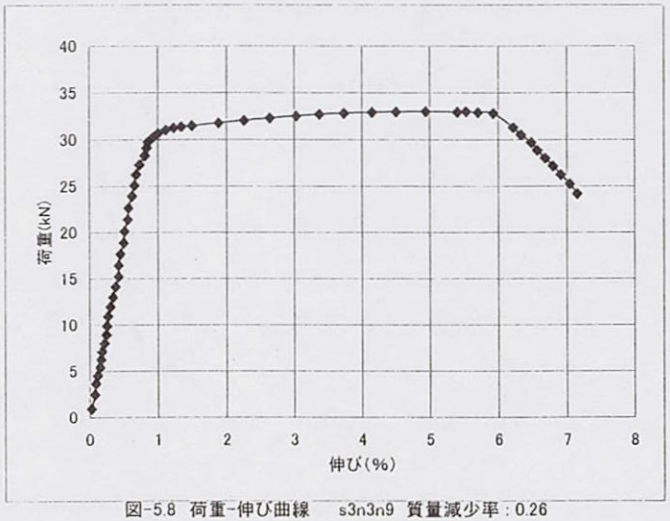


図-5.8 荷重-伸び曲線　s3n3n9 質量減少率：0.26

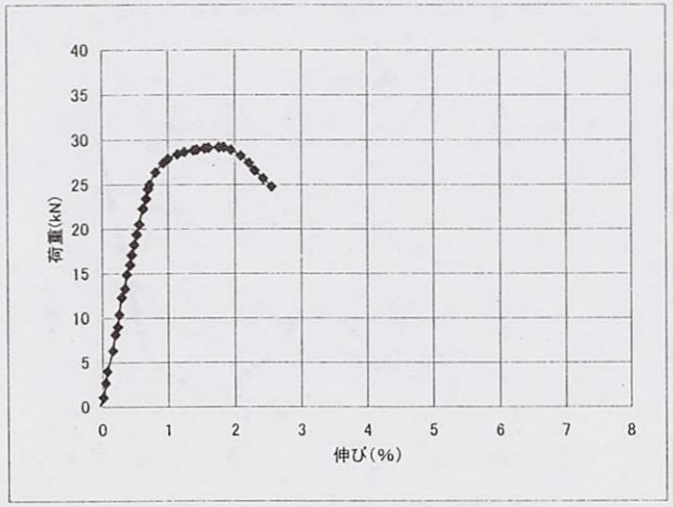


図-5.9 荷重-伸び曲線　s3n4n1 質量減少率：5.7

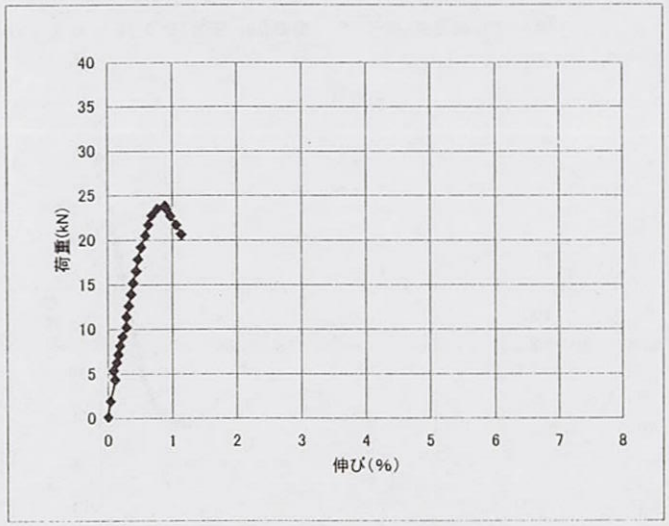


図-5.10 荷重-伸び曲線　s3n4n2 質量減少率：11.56

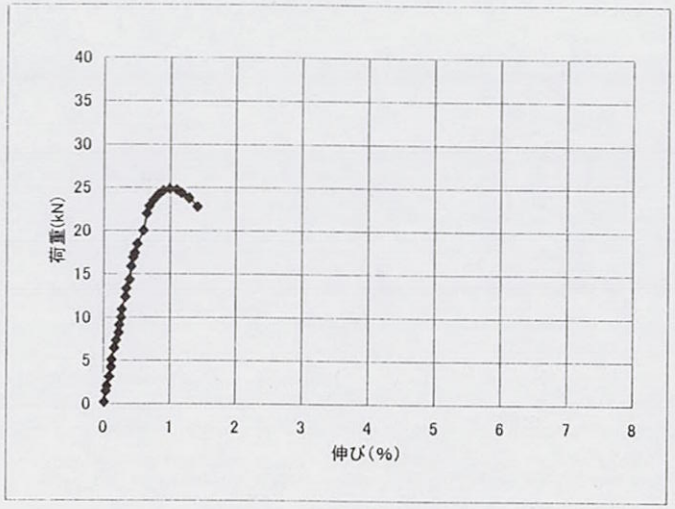


図-5.11 荷重-伸び曲線　s3n4n5 質量減少率：8.7

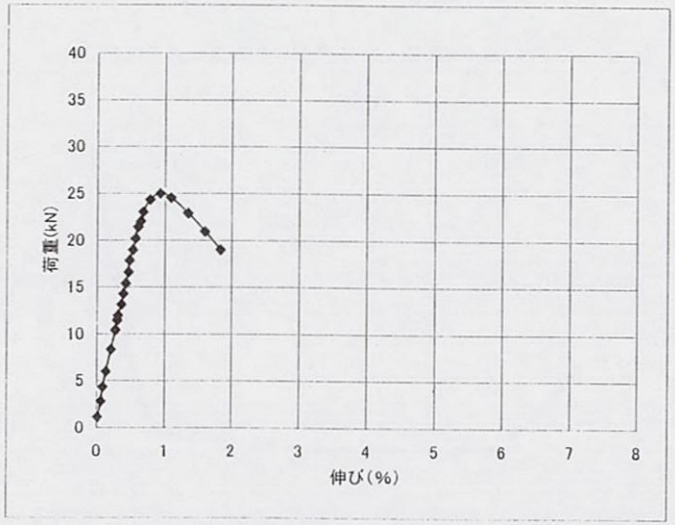


図-5.12 荷重-伸び曲線　s3n4n1t 質量減少率：8.7

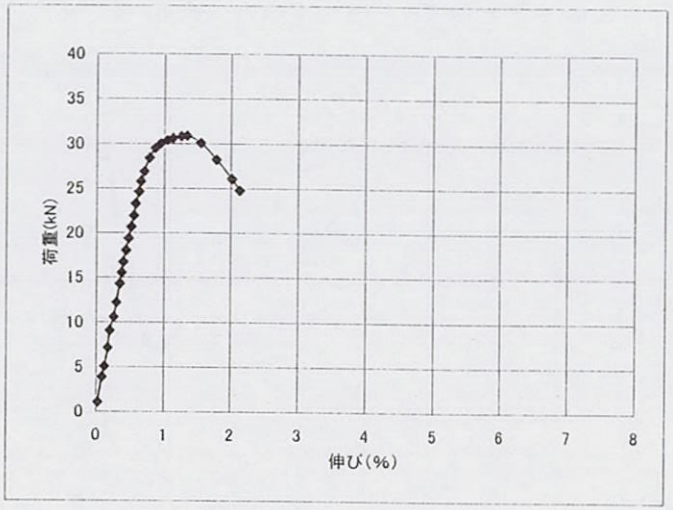


図-5.13 荷重-伸び曲線　s3n4n3t 質量減少率：2.82

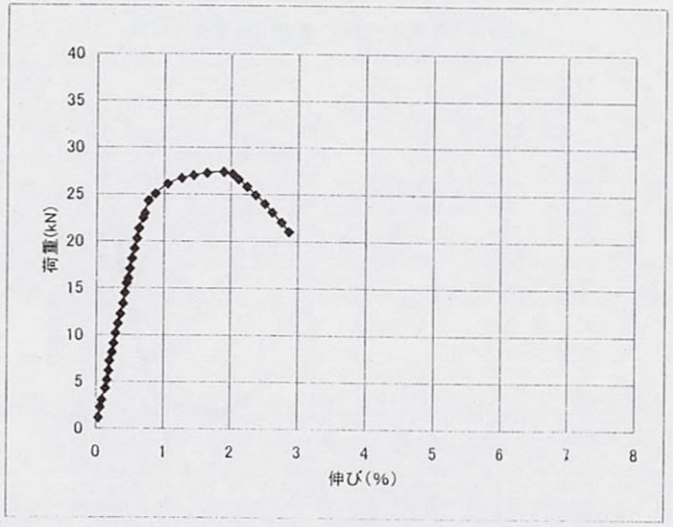


図-5.14 荷重-伸び曲線　s3n4n5t 質量減少率：8.79

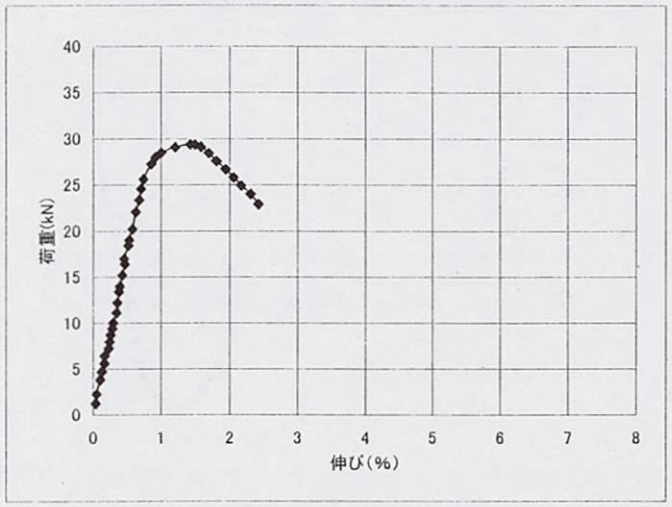


図-5.15 荷重-伸び曲線　s3n5n1s 質量減少率：6.5

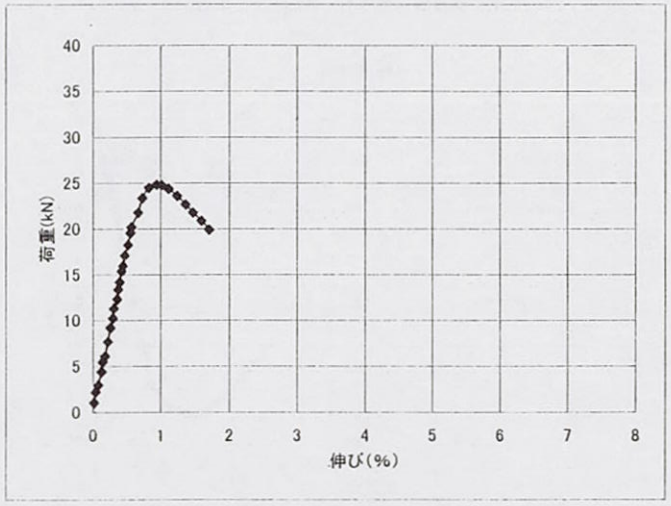


図-5.16 荷重-伸び曲線　s3n5n2s 質量減少率：7.28

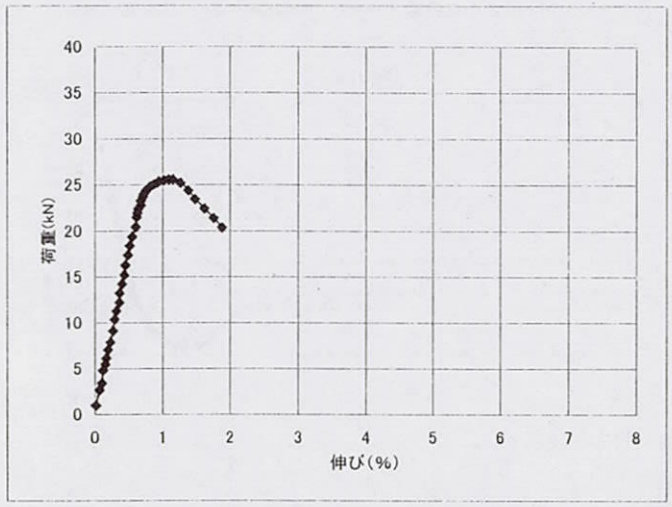


図-5.17 荷重-伸び曲線　s3n5n1 質量減少率：14.58

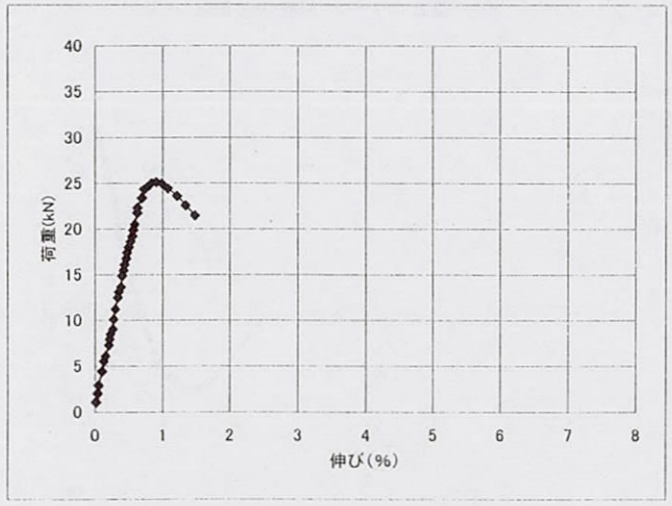


図-5.18 荷重-伸び曲線　s3n5n2 質量減少率：5.58

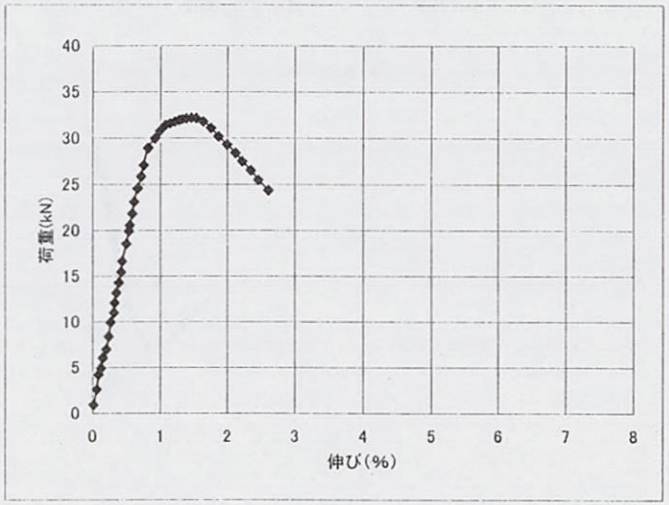


図-5.19 荷重-伸び曲線　s3n5n3 質量減少率：4.27

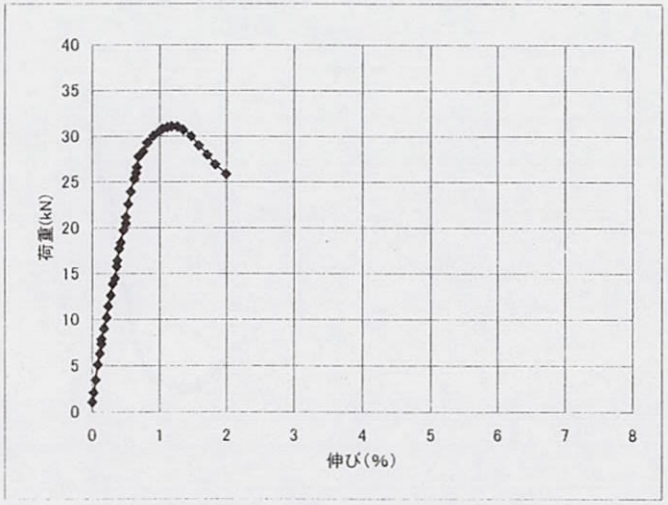


図-5.20 荷重-伸び曲線　s3n5n5 質量減少率：1.8

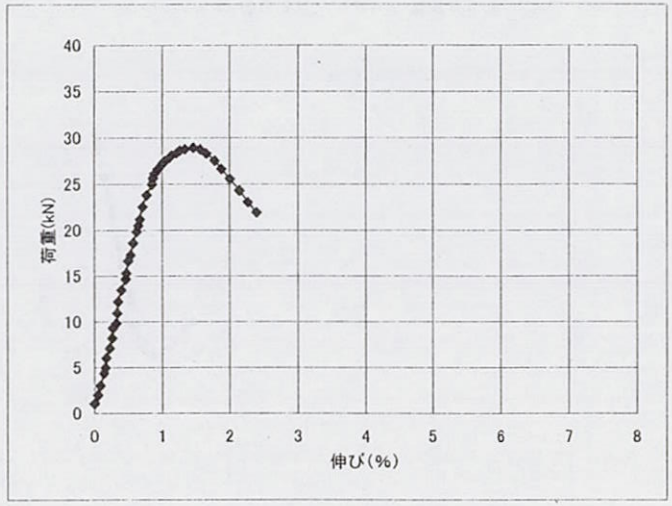


図-5.21 荷重-伸び曲線　s3n5n6 質量減少率：5.49

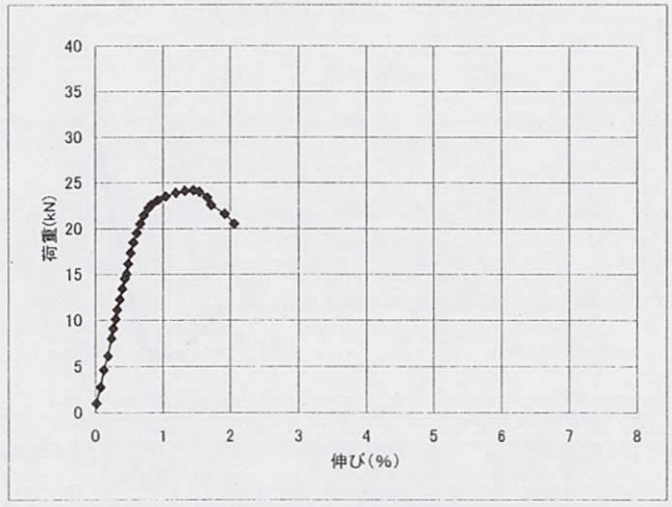


図-5.22 荷重-伸び曲線　s3n5n7 質量減少率：14.01

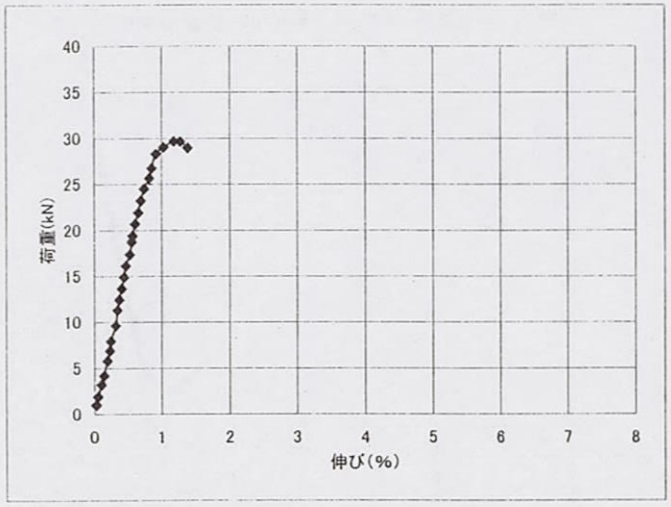


図-5.23 荷重-伸び曲線　s3n5n12 質量減少率：6.13

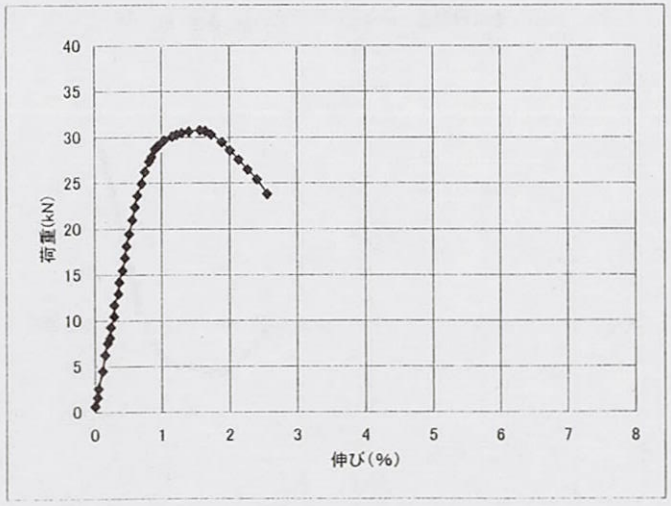


図-5.24 荷重-伸び曲線　s3n5n13 質量減少率：7.09

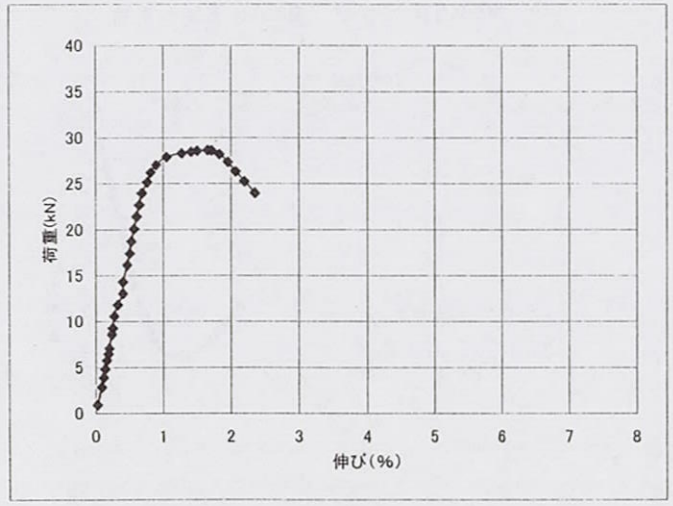


図-5.25 荷重-伸び曲線　s3n5n15 質量減少率：8.35

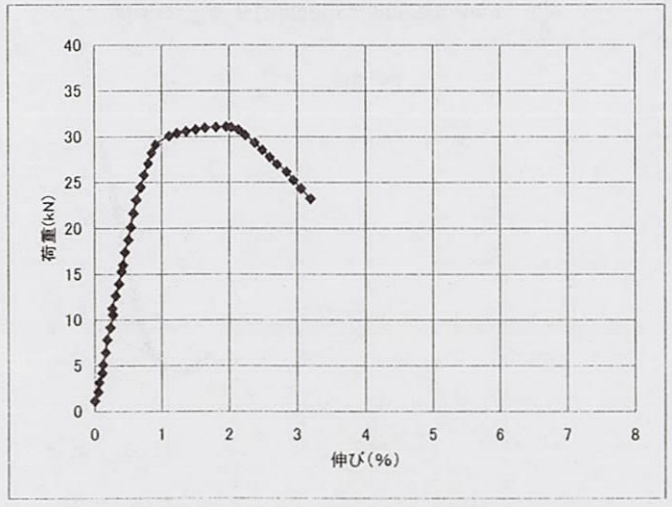


図-5.26 荷重-伸び曲線　s3n5n18 質量減少率：4.7

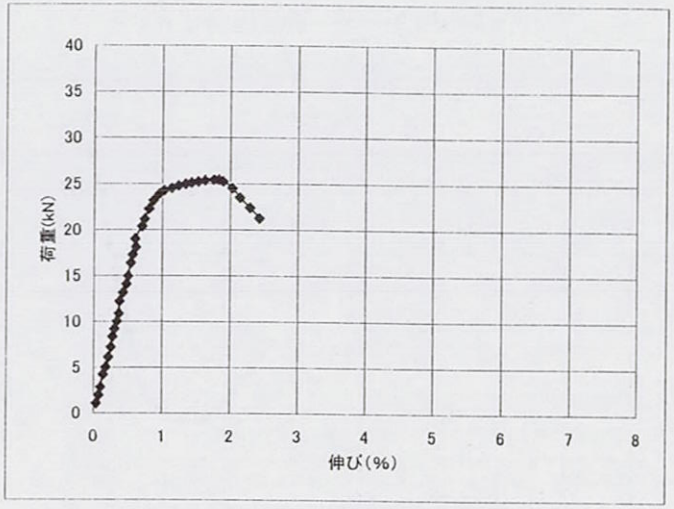


図-5.27 荷重-伸び曲線　s3n5n20 質量減少率：17.49

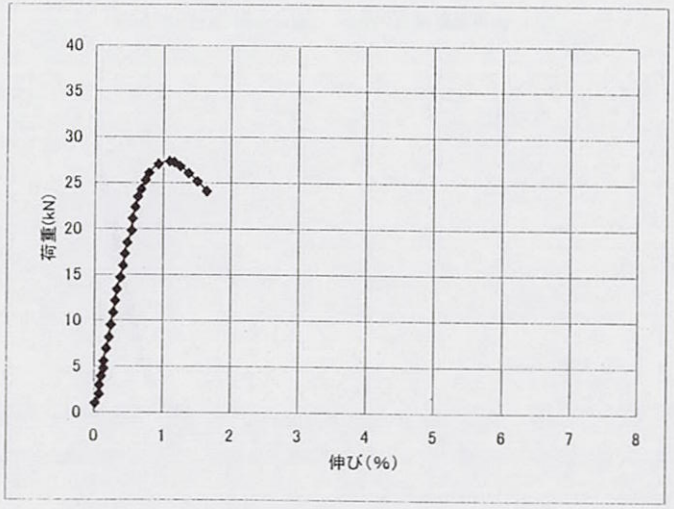


図-5.28 荷重-伸び曲線　s3n5n21 質量減少率：8.63

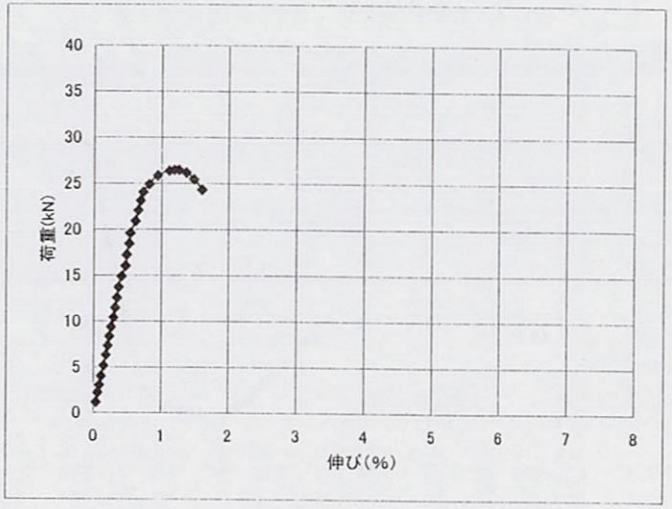


図-5.29 荷重-伸び曲線　s3n5n22 質量減少率：10.01

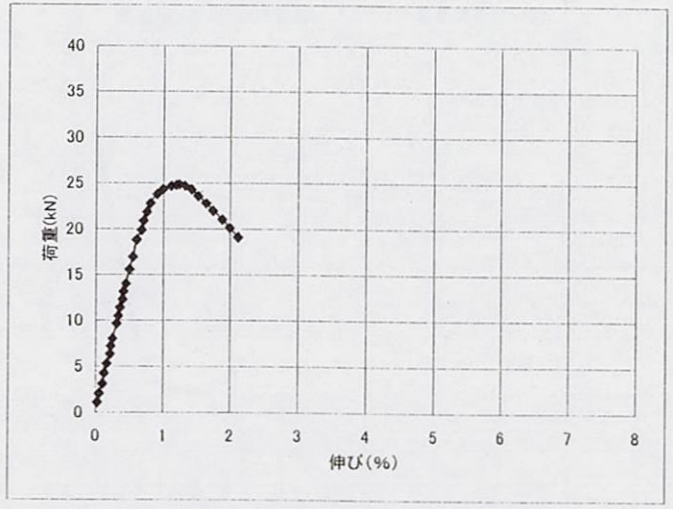


図-5.30 荷重-伸び曲線　s3n5n24 質量減少率：16.73



図-5.31 荷重-伸び曲線　s3n5n25 質量減少率：11.54

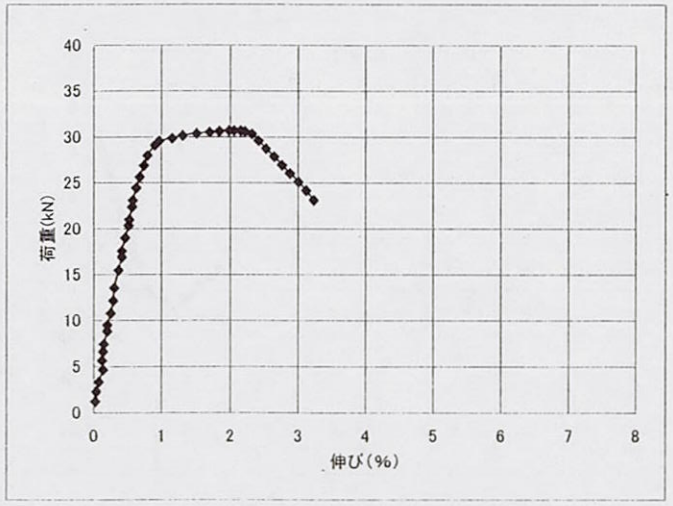


図-5.32 荷重-伸び曲線　s3n5n27 質量減少率：4.57

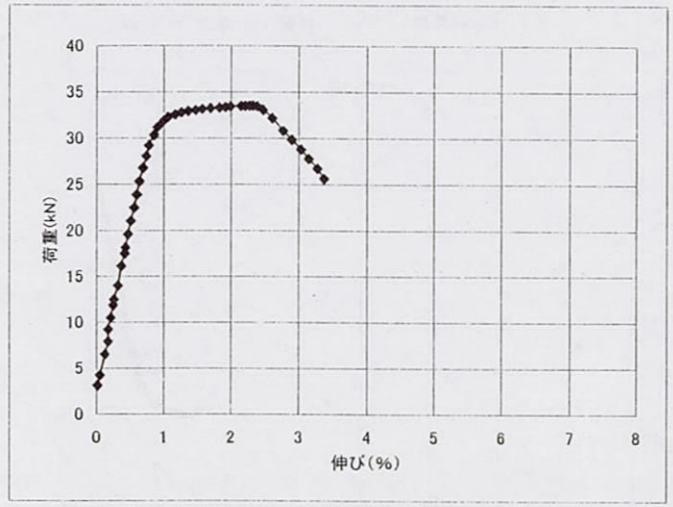


図-5.33 荷重-伸び曲線　s3n5n28 質量減少率：2.15

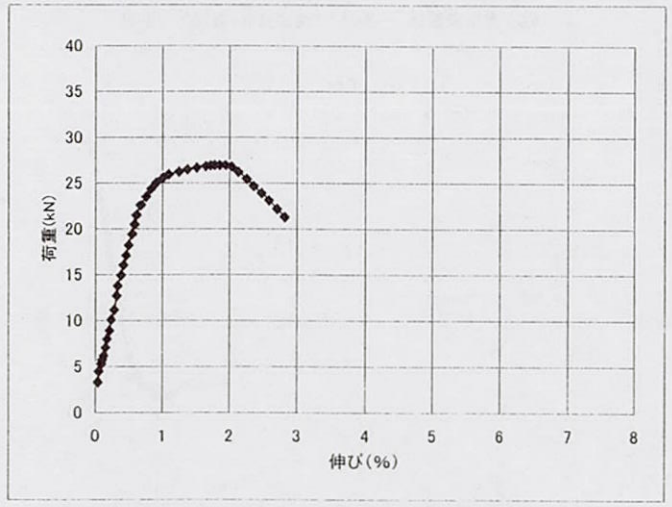


図-5.34 荷重-伸び曲線　s3n5n29 質量減少率：12.87

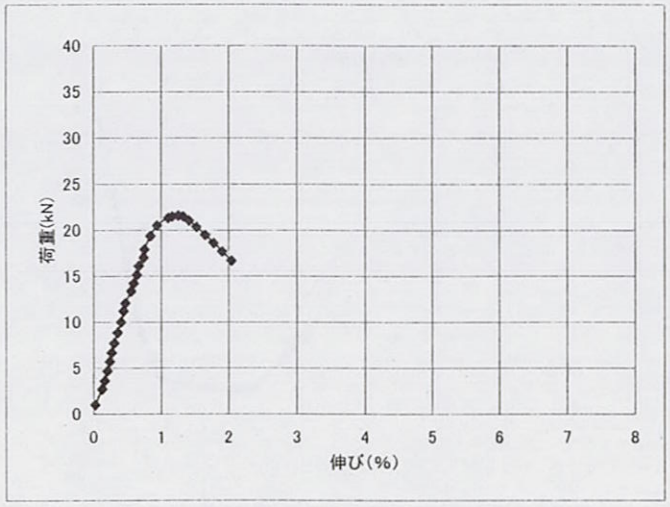


図-5.35 荷重-伸び曲線　s3n5n30 質量減少率：18.35

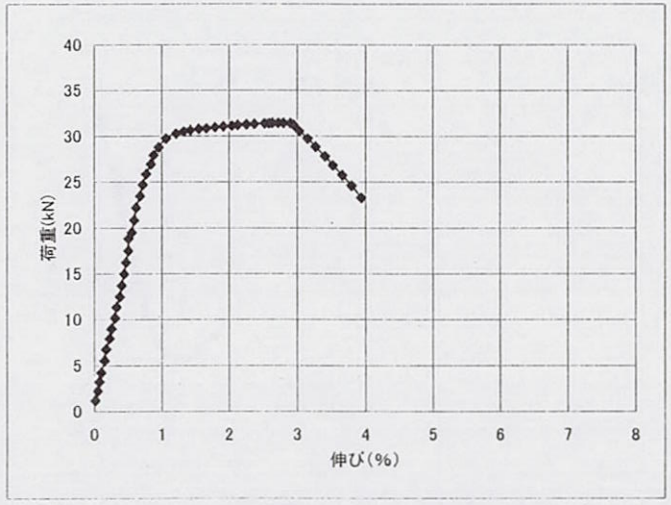


図-5.36 荷重-伸び曲線　s3n5n31 質量減少率：5.13

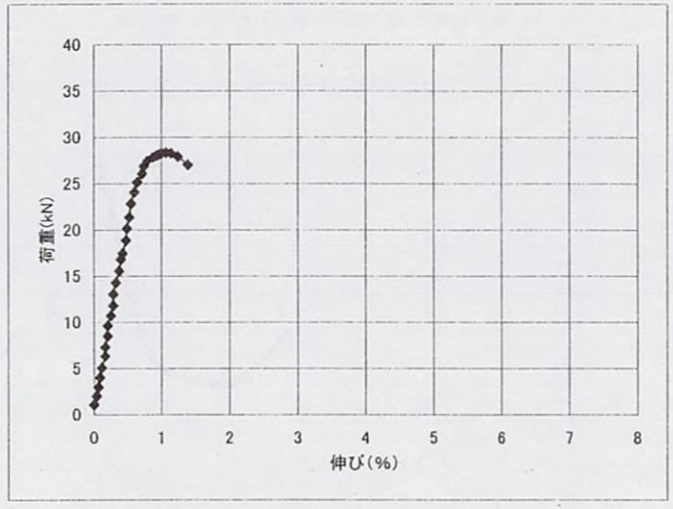


図-5.37 荷重-伸び曲線　s3n6n1 質量減少率：3.97

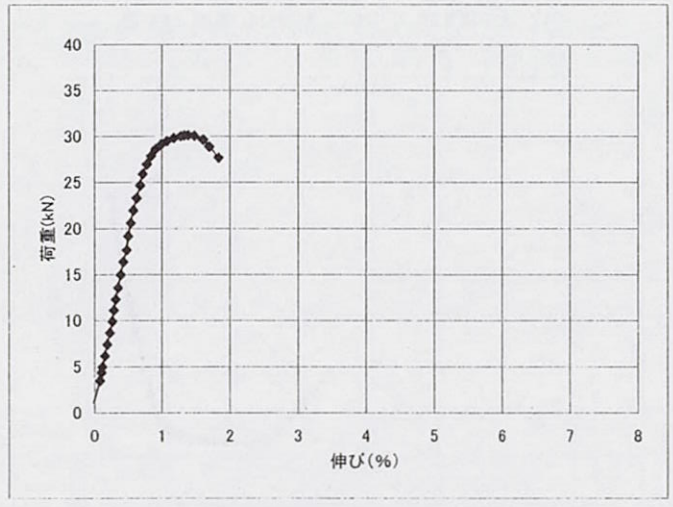


図-5.38 荷重-伸び曲線　s3n6n2 質量減少率：2.8

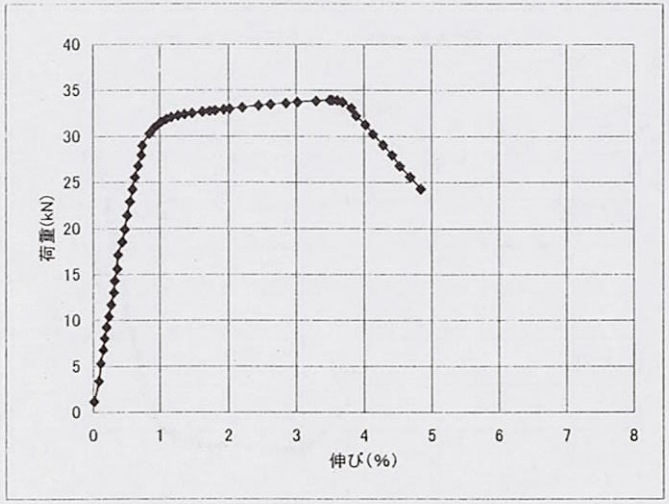


図-5.39 荷重-伸び曲線　s3n6n4 質量減少率：0.62

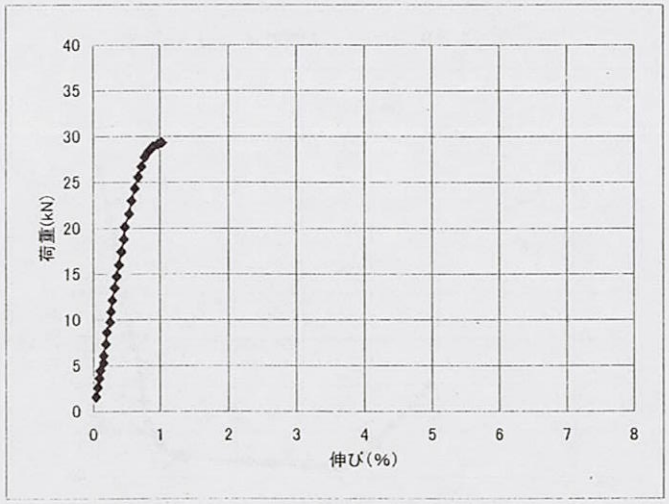


図-5.40 荷重-伸び曲線　s3n6n5 質量減少率：1.03

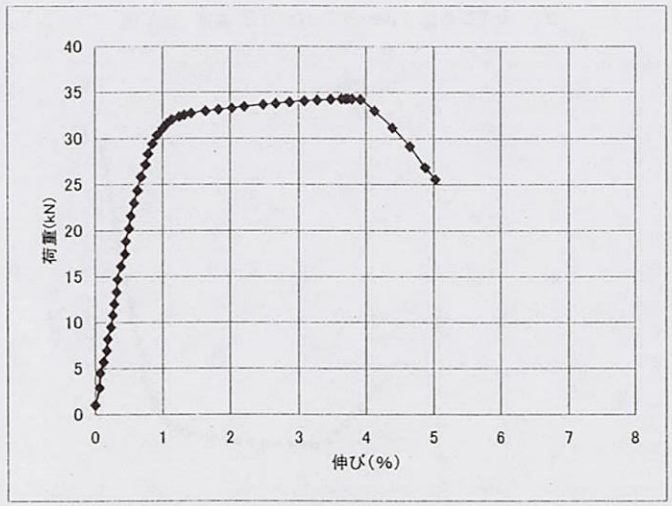


図-5.41 荷重-伸び曲線　s3n6n6 質量減少率：0.59

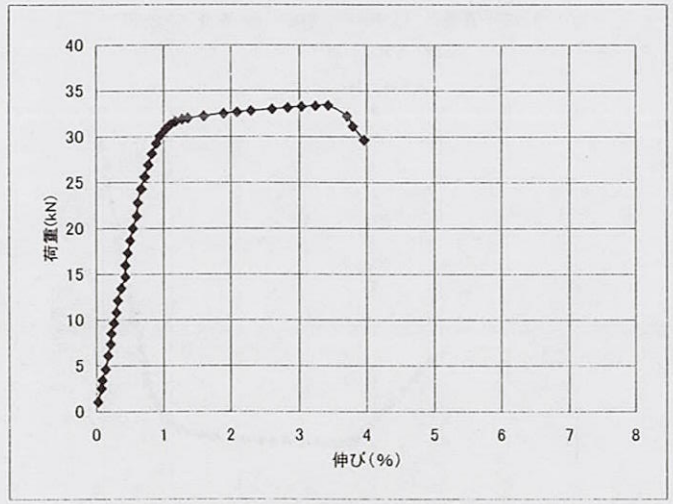


図-5.42 荷重-伸び曲線　s3n6n7 質量減少率：1.76

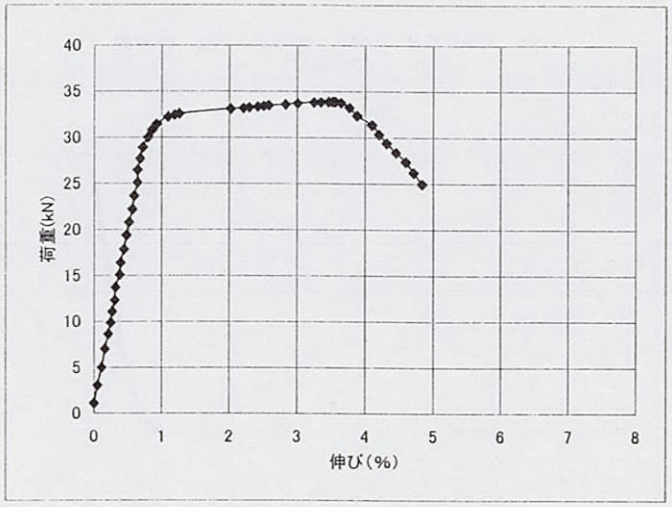


図-5.43 荷重-伸び曲線　s3n6n8 質量減少率：1.09

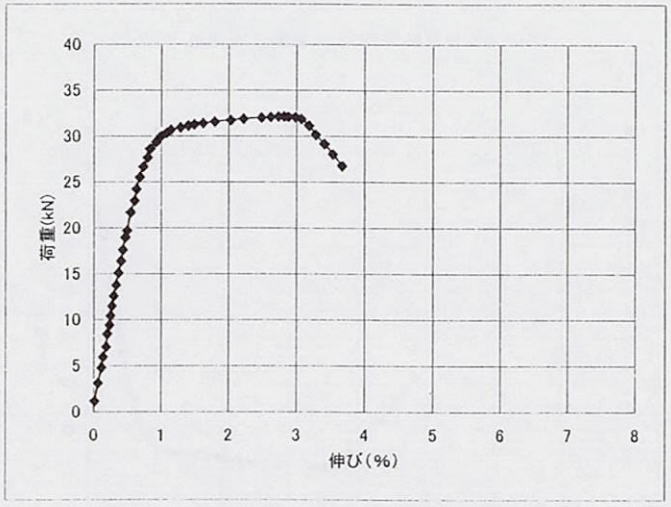


図-5.44 荷重-伸び曲線　s3n6n9 質量減少率：3.91

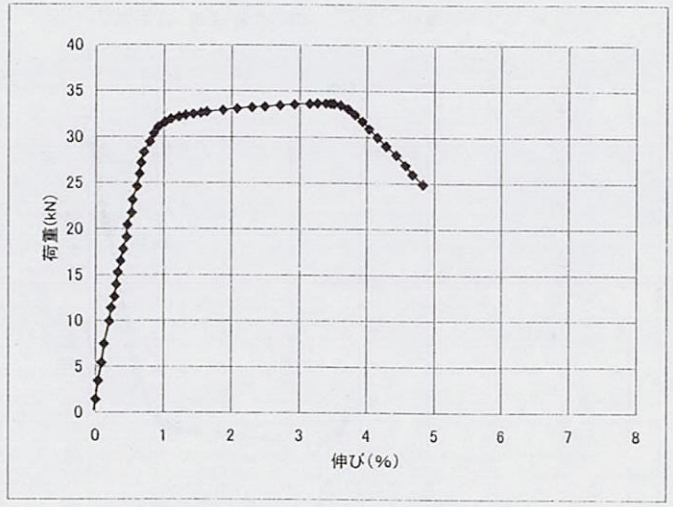


図-5.45 荷重-伸び曲線　s3n6n11 質量減少率：1.67

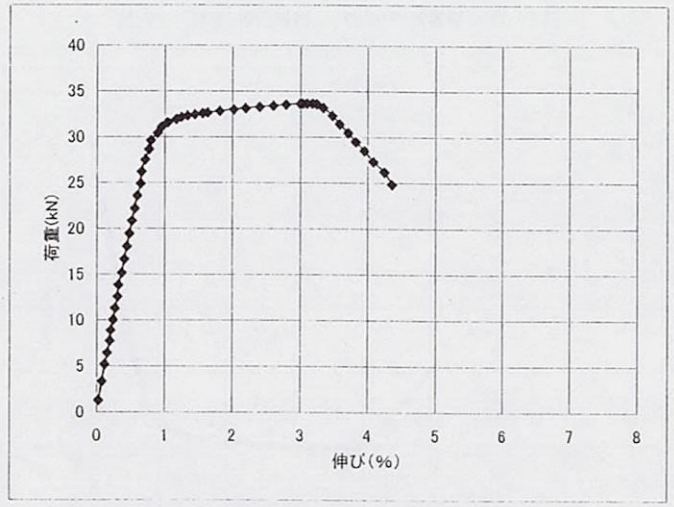


図-5.46 荷重-伸び曲線　s3n6n12 質量減少率：0.75

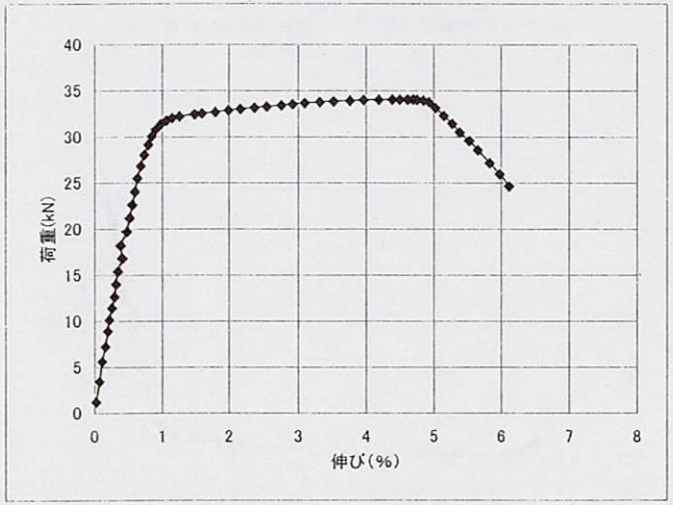


図-5.47 荷重-伸び曲線　s3n6n13 質量減少率：0.99

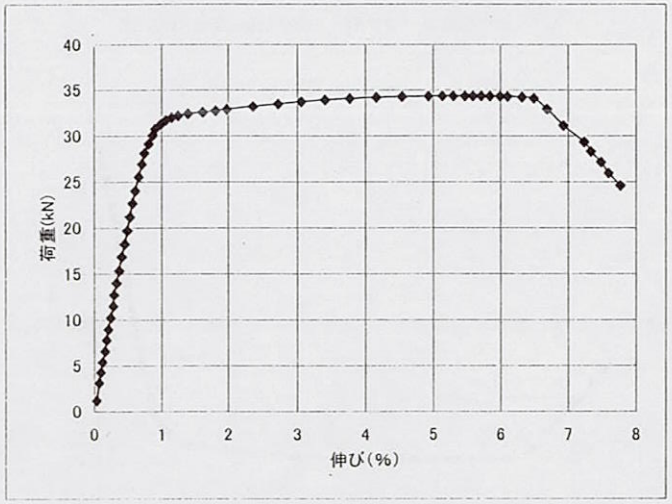


図-5.48 荷重-伸び曲線　s3n6n14 質量減少率：0.37

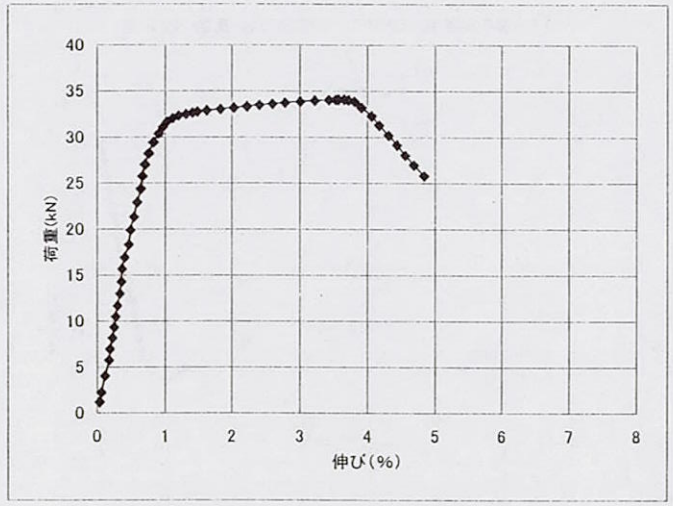


図-5.49 荷重-伸び曲線　s3n6n16 質量減少率：0.96

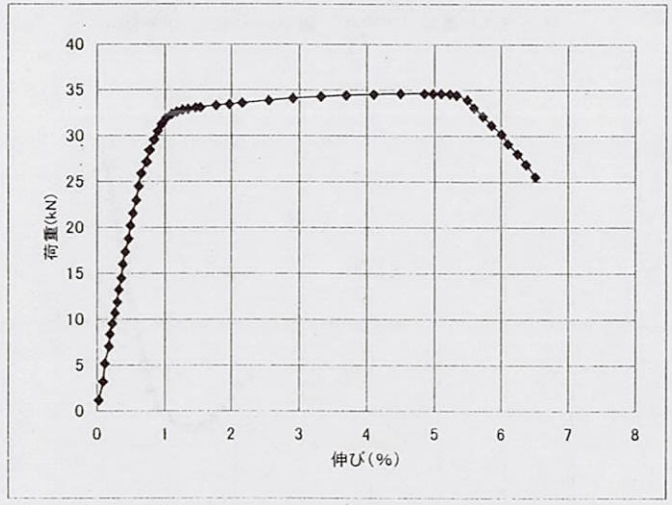


図-5.50 荷重-伸び曲線　s3n6n18 質量減少率：1.09

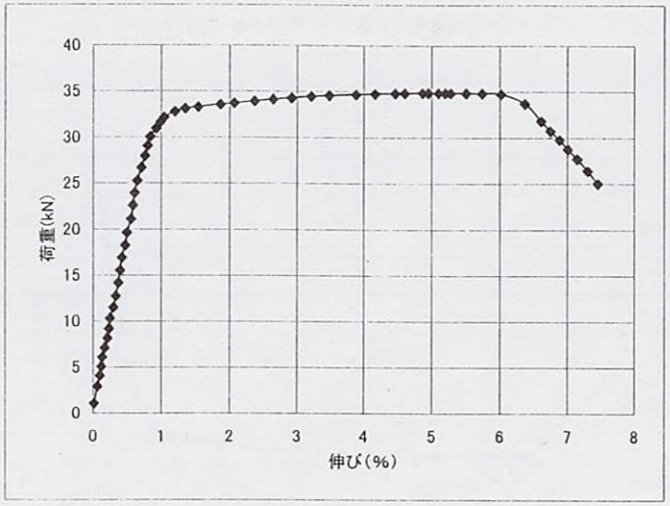


図-5.51 荷重-伸び曲線　s3n6n19 質量減少率：0.27

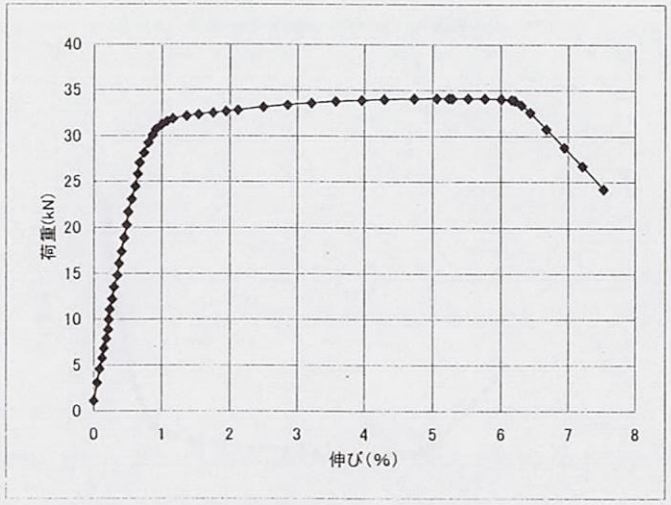


図-5.52 荷重-伸び曲線　s3n6n20 質量減少率：0.63

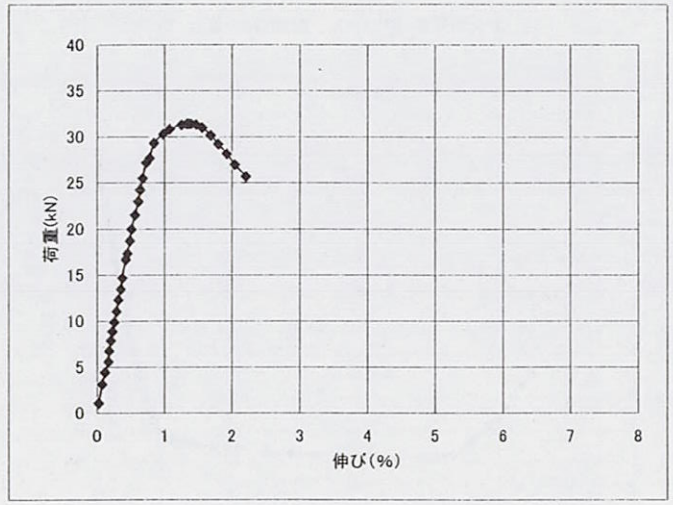


図-5.53 荷重-伸び曲線　s3n6n31 質量減少率：1.72

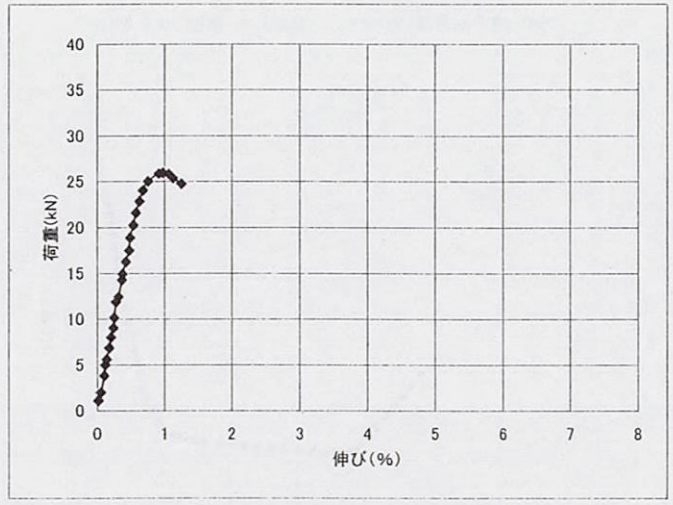


図-5.54 荷重-伸び曲線　s3n6n32 質量減少率：2.45

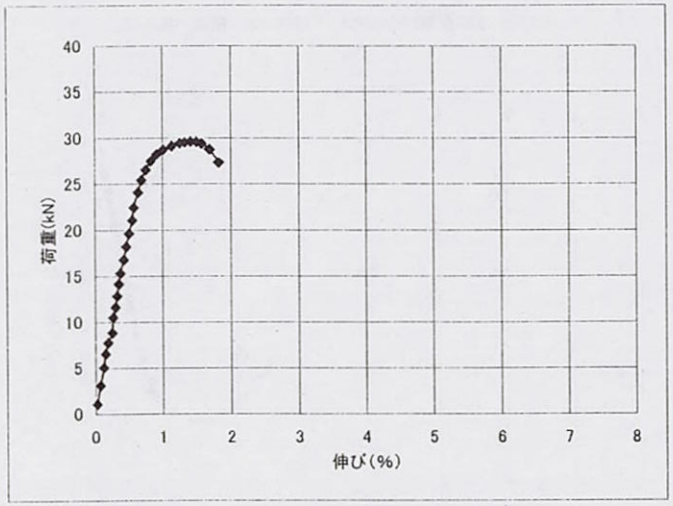


図-5.55 荷重-伸び曲線　s3n6n33 質量減少率：3.45

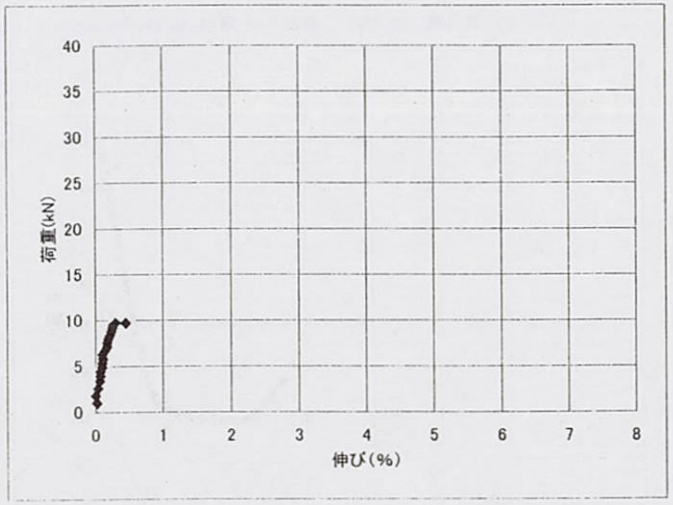


図-5.56 荷重-伸び曲線　s3n6n34 質量減少率：5.04

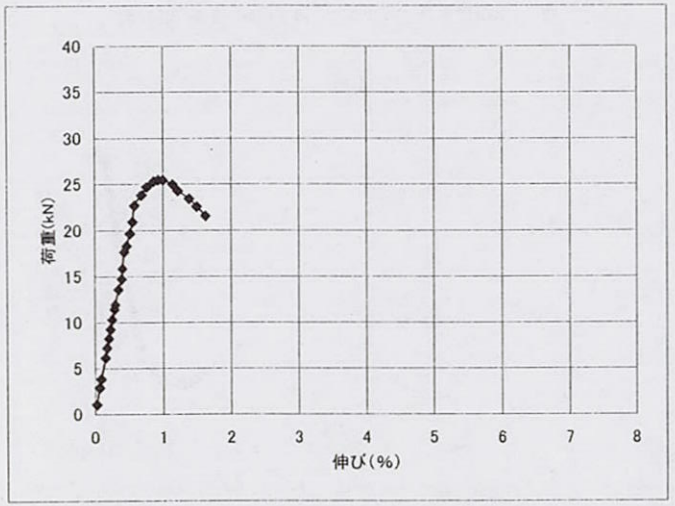


図-5.57 荷重-伸び曲線　s3n6n35 質量減少率：3.42

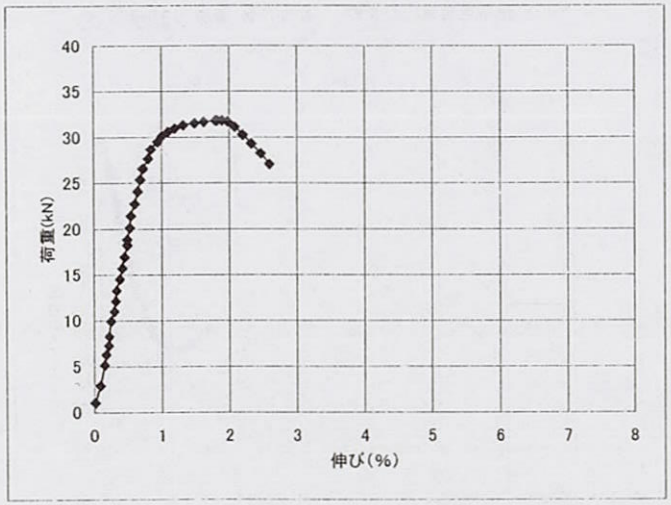


図-5.58 荷重-伸び曲線　s3n6n36 質量減少率：2.21

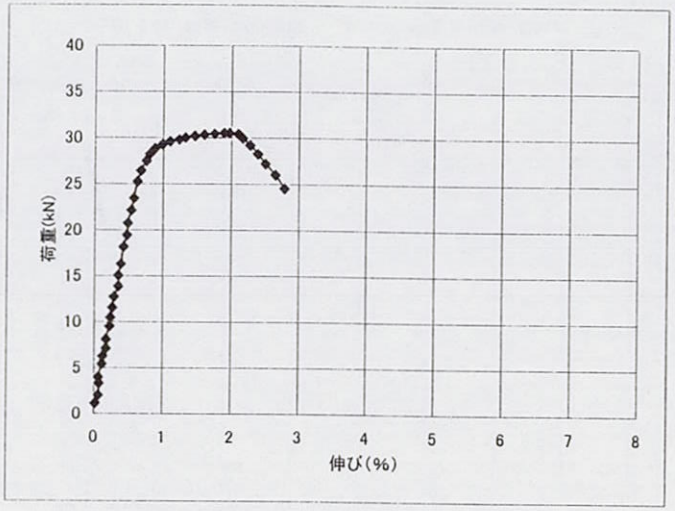


図-5.59 荷重-伸び曲線　s3n6n37 質量減少率：3.1

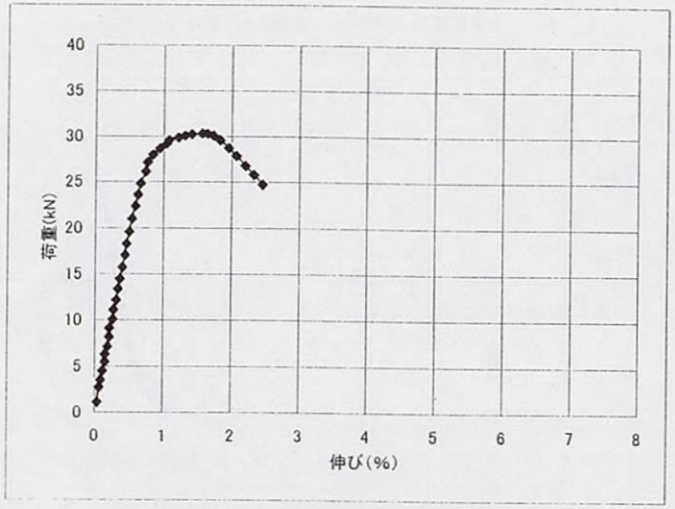


図-5.60 荷重-伸び曲線　s3n6n38 質量減少率：3.61

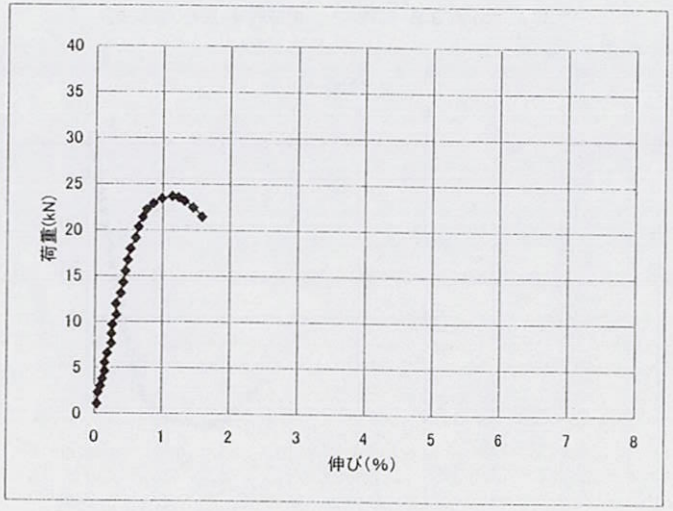


図-5.61 荷重-伸び曲線　s3n6n39 質量減少率：5.88

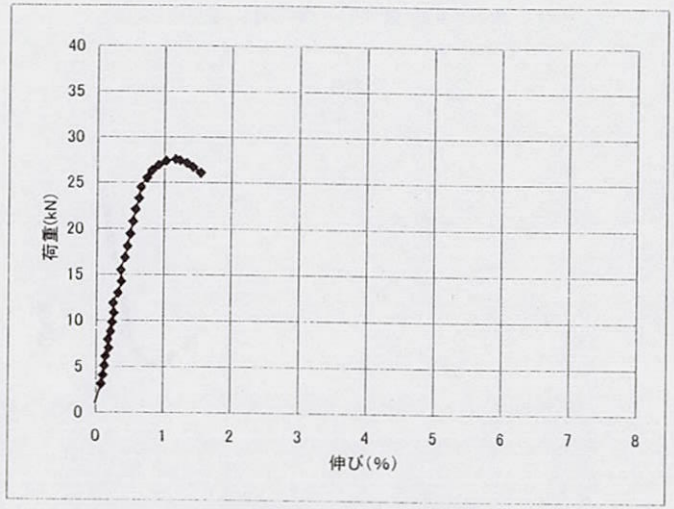


図-5.62 荷重-伸び曲線　s3n6n40 質量減少率：3.64

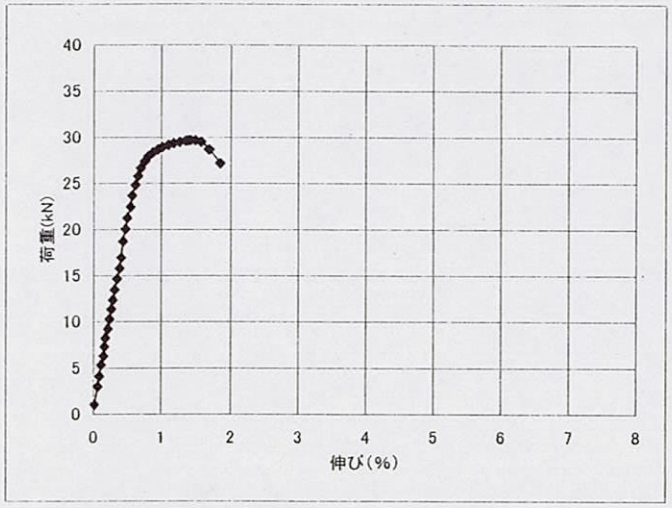


図-5.63 荷重-伸び曲線　s3n6n42 質量減少率：4.26

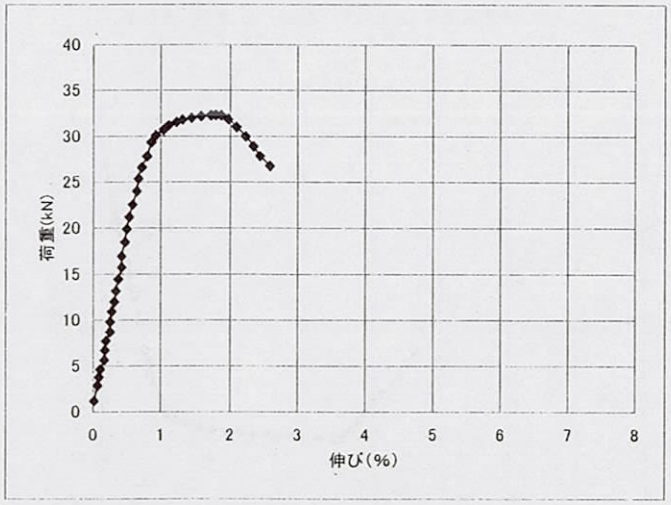


図-5.64 荷重-伸び曲線　s3n6n44 質量減少率：1.91

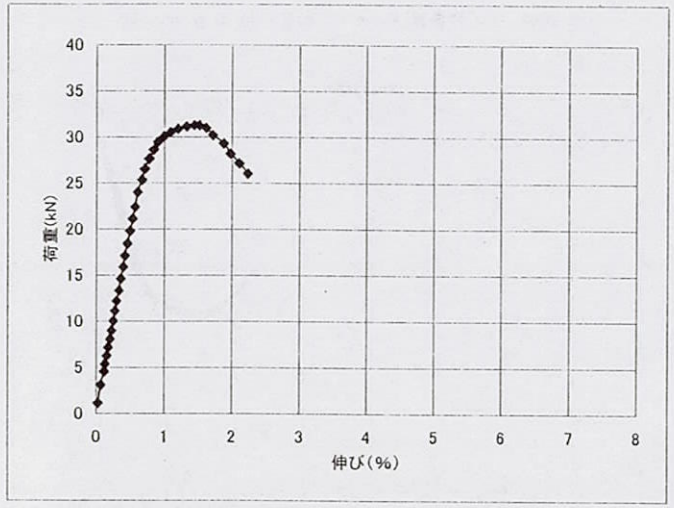


図-5.65 荷重-伸び曲線　s3n6n45 質量減少率：2.74

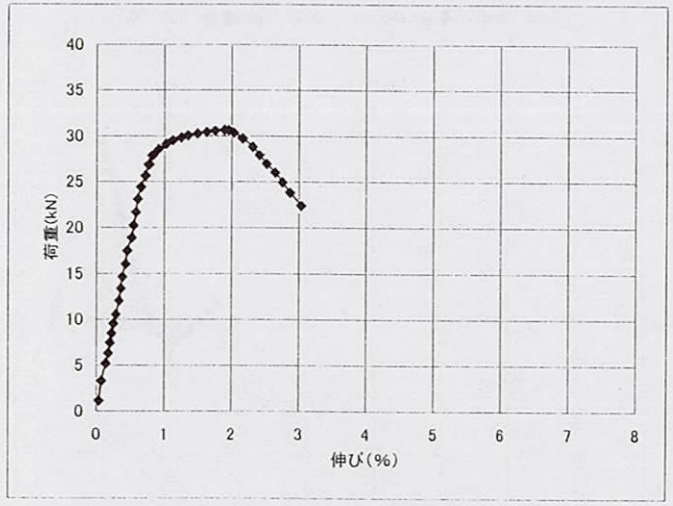


図-5.66 荷重-伸び曲線　s3n6n47 質量減少率：2.9

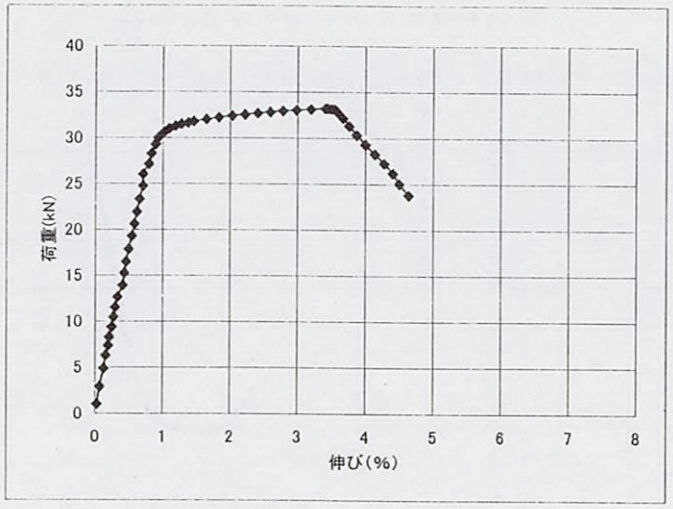


図-5.67 荷重-伸び曲線　s3n6n48 質量減少率：1.17

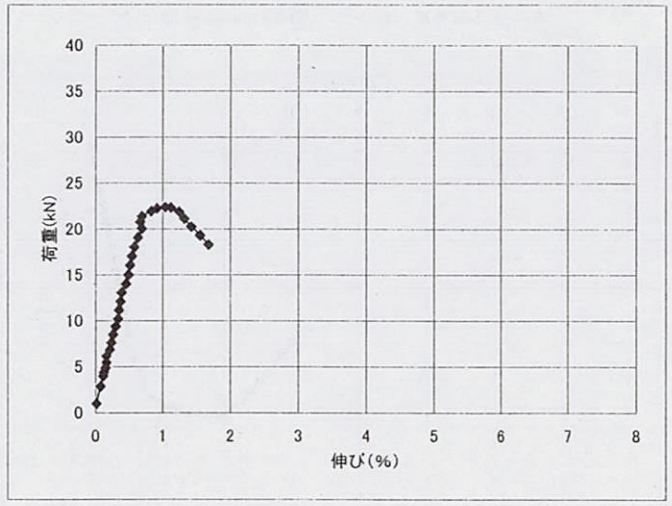


図-5.68 荷重-伸び曲線　s3n7n1 質量減少率：23.9

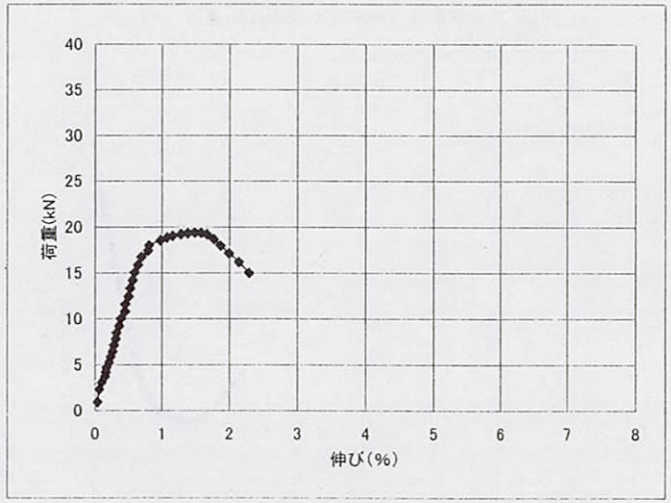


図-5.69 荷重-伸び曲線　s3n7n3 質量減少率：30.35

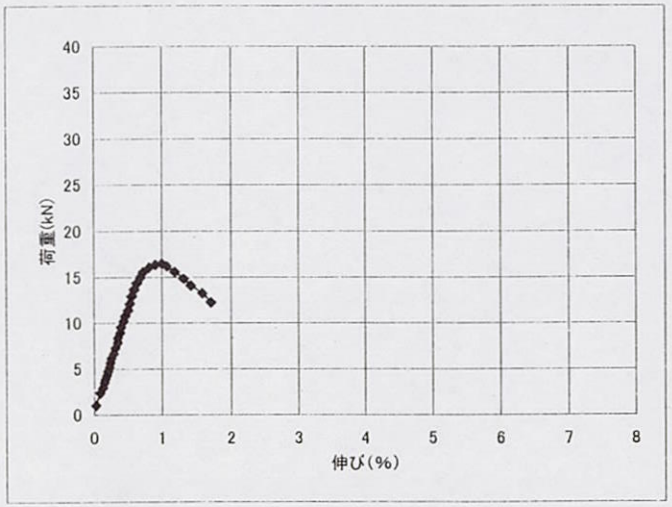


図-5.70 荷重-伸び曲線　s3n7n4 質量減少率：35.85

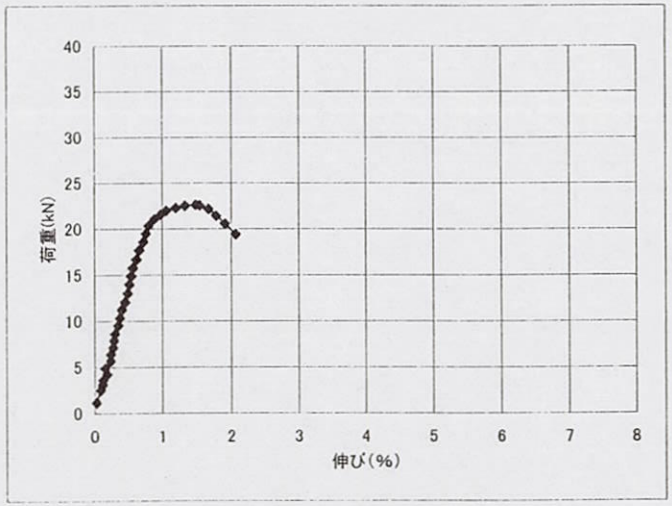


図-5.71 荷重-伸び曲線　s3n7n6 質量減少率：44.44

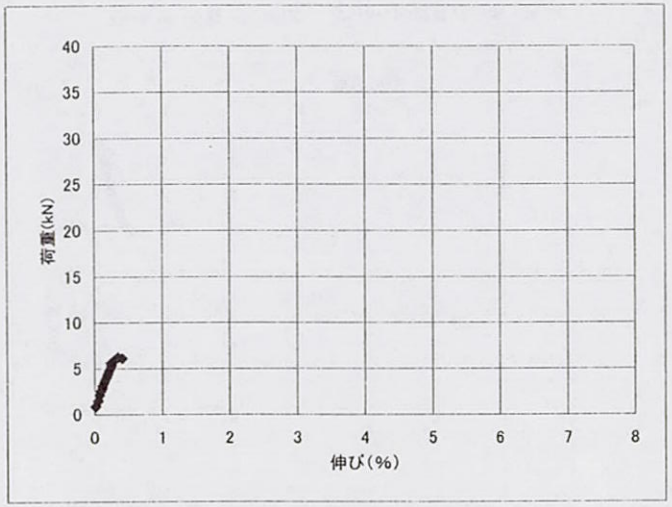


図-5.72 荷重-伸び曲線　s3n7n8 質量減少率：34.23

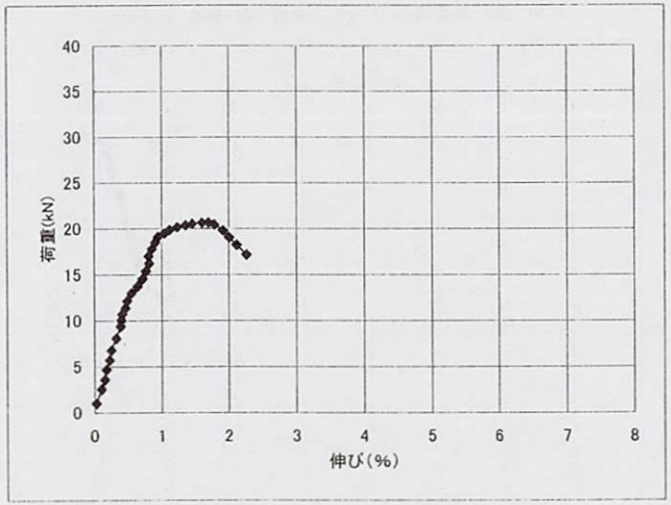


図-5.73 荷重-伸び曲線　s3n7n9 質量減少率：28.74

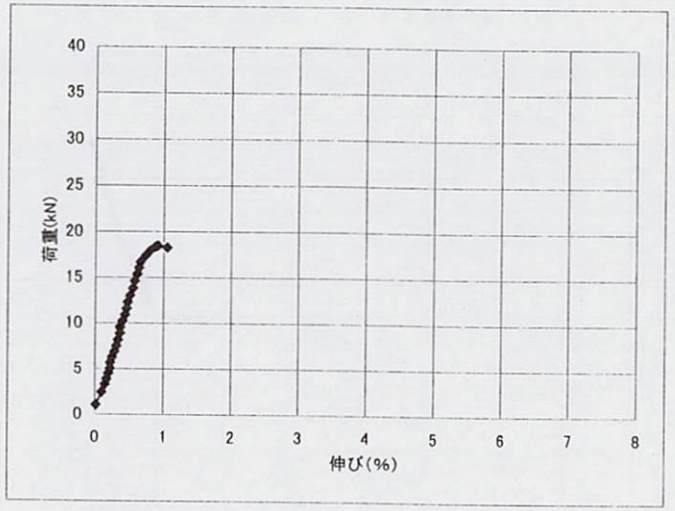


図-5.74 荷重-伸び曲線 s3n7n10 質量減少率：25.34

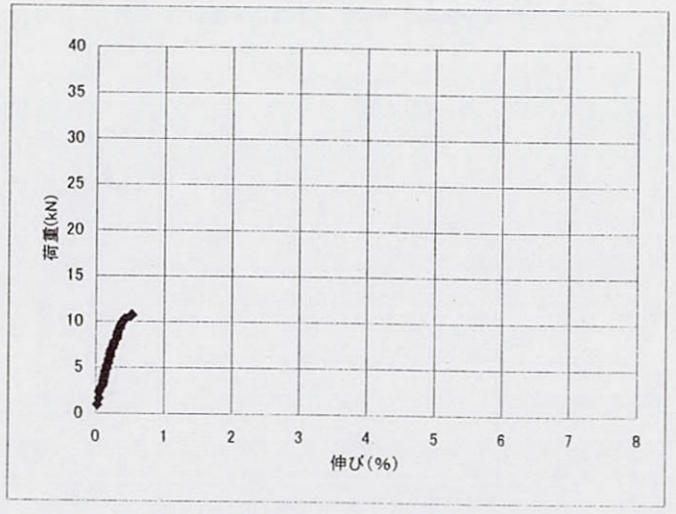


図-5.75 荷重-伸び曲線 s3n7n11 質量減少率：30.38

参考資料６

形状計測結果

図-6.1 形状計測結果 specimen s3n1n1

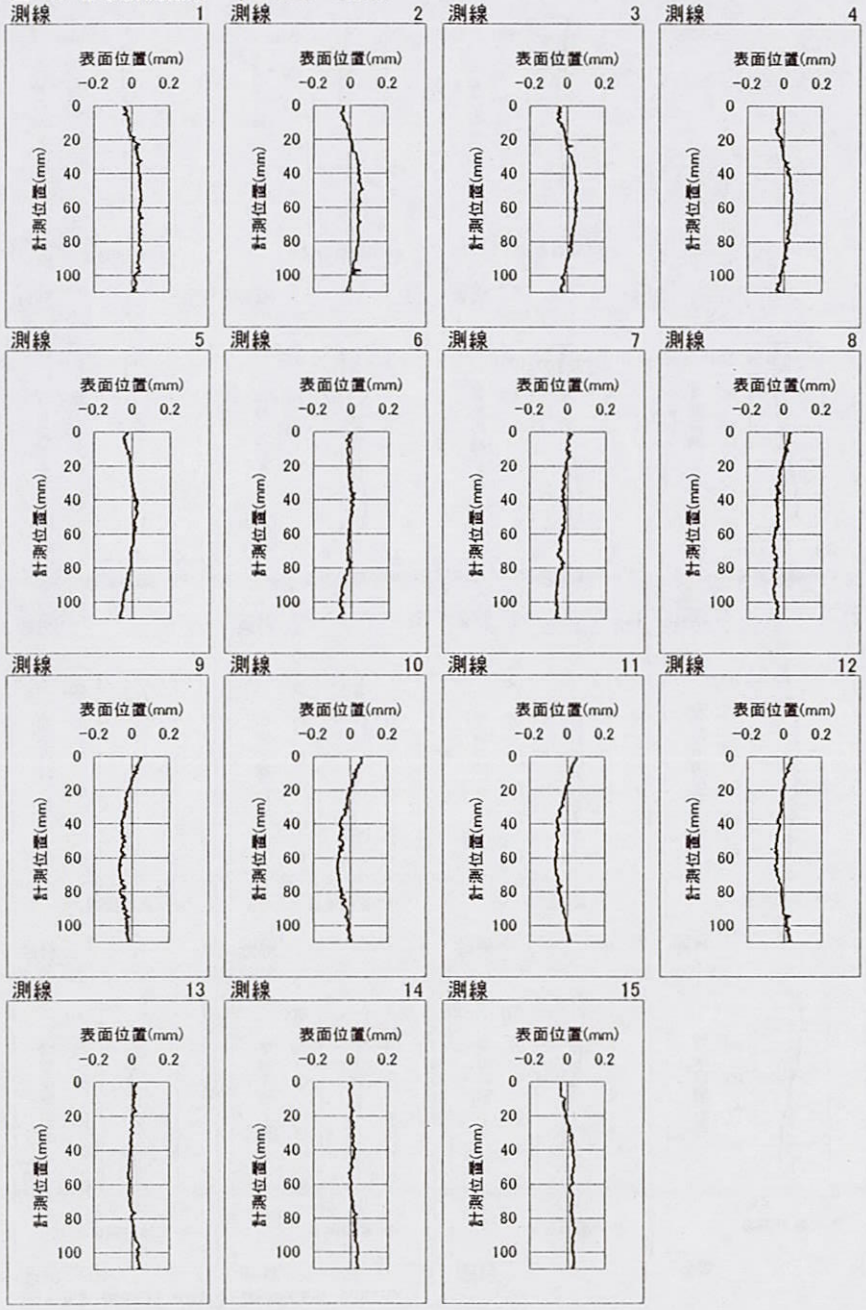
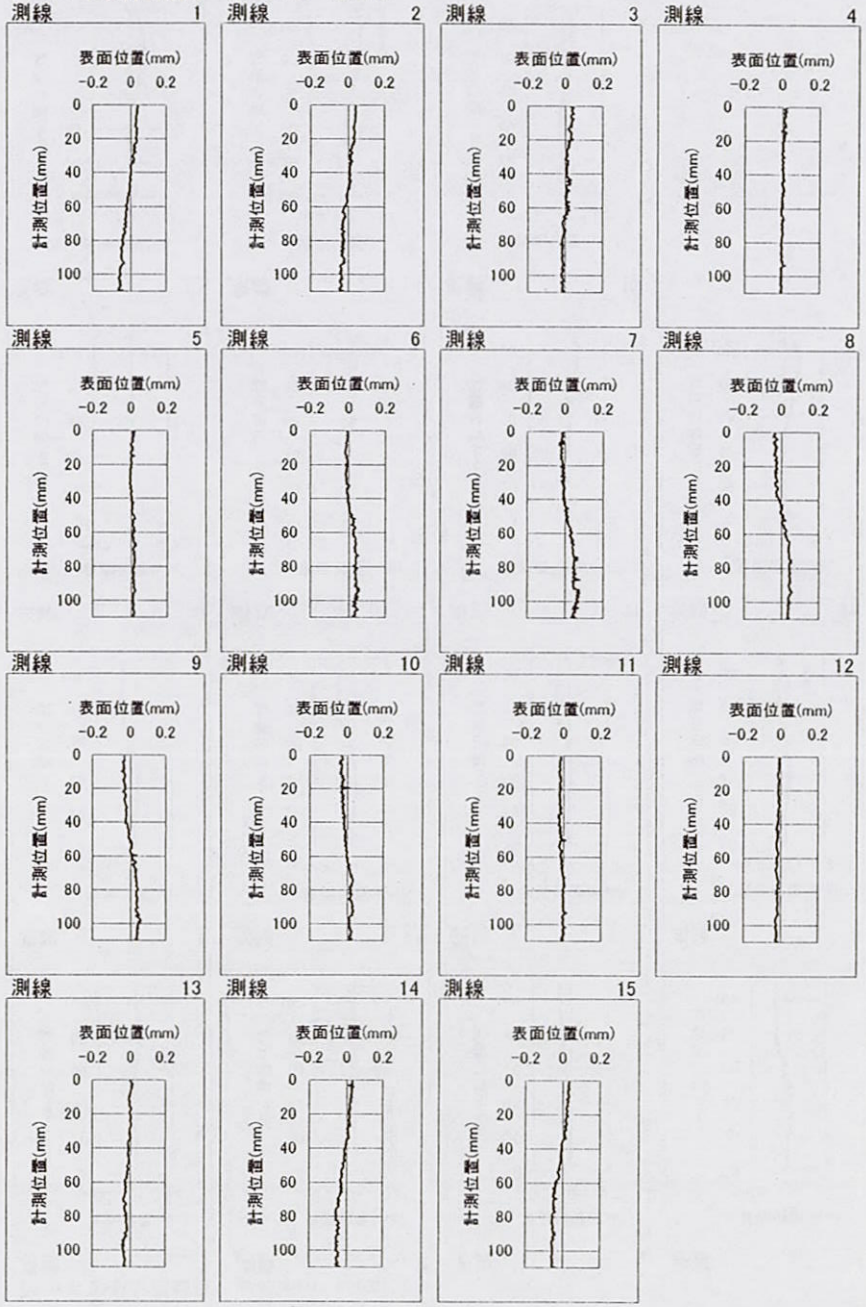


図-6.2 形状計測結果 specimen s3n1n2



図－6.3 形状計測結果 specimen s3n1n3

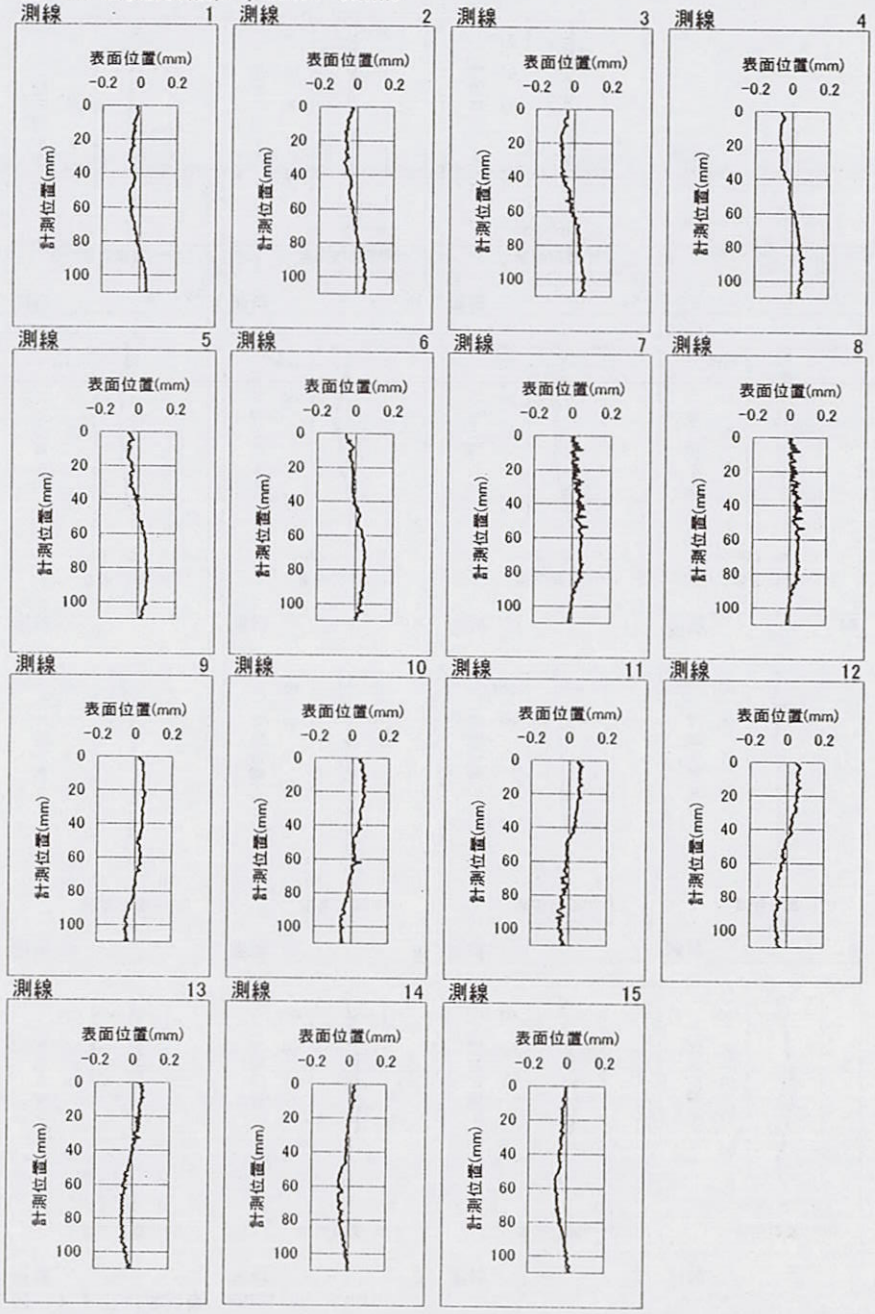


図-6.4 形状計測結果 specimen s3n2n1

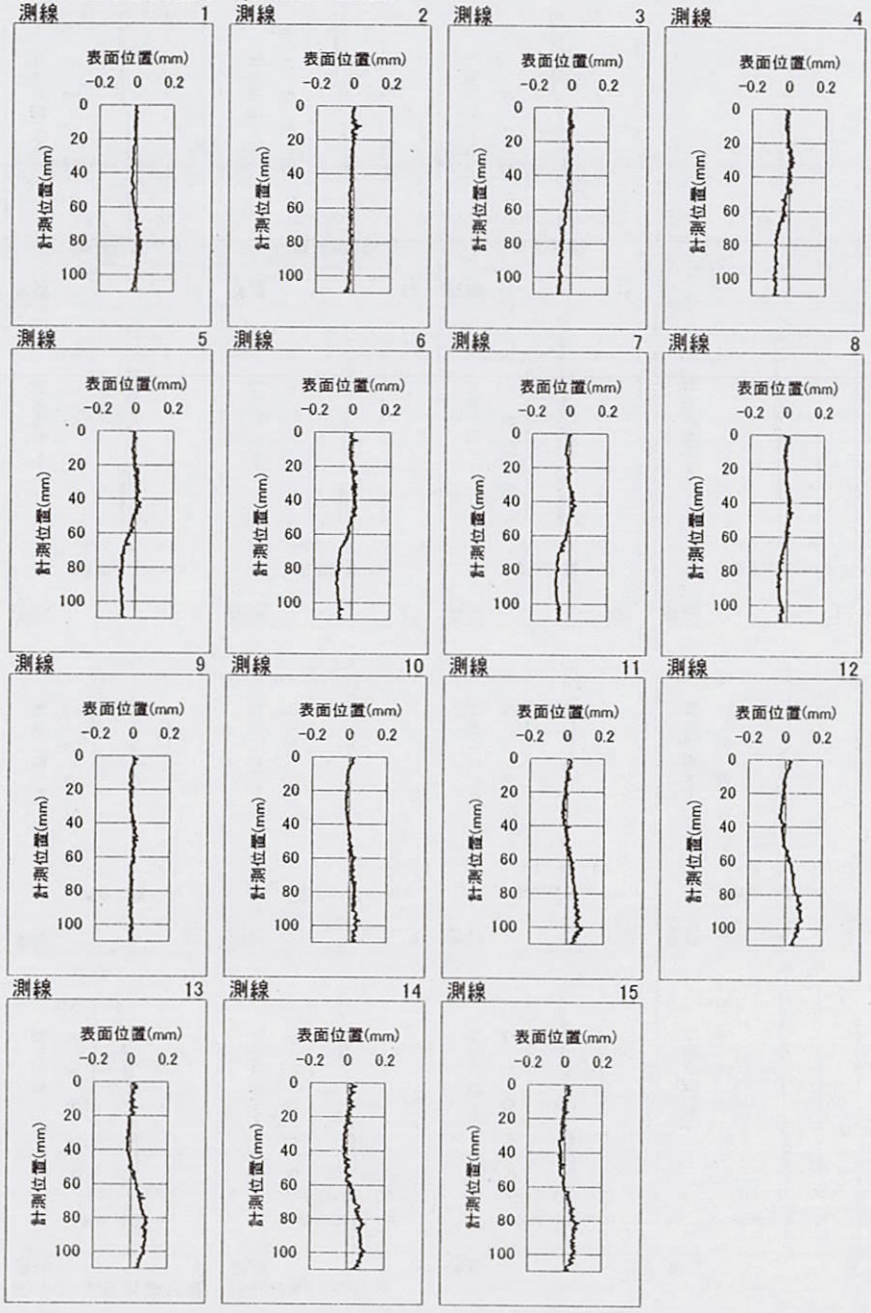


図-6.5 形状計測結果 specimen s3n2n2

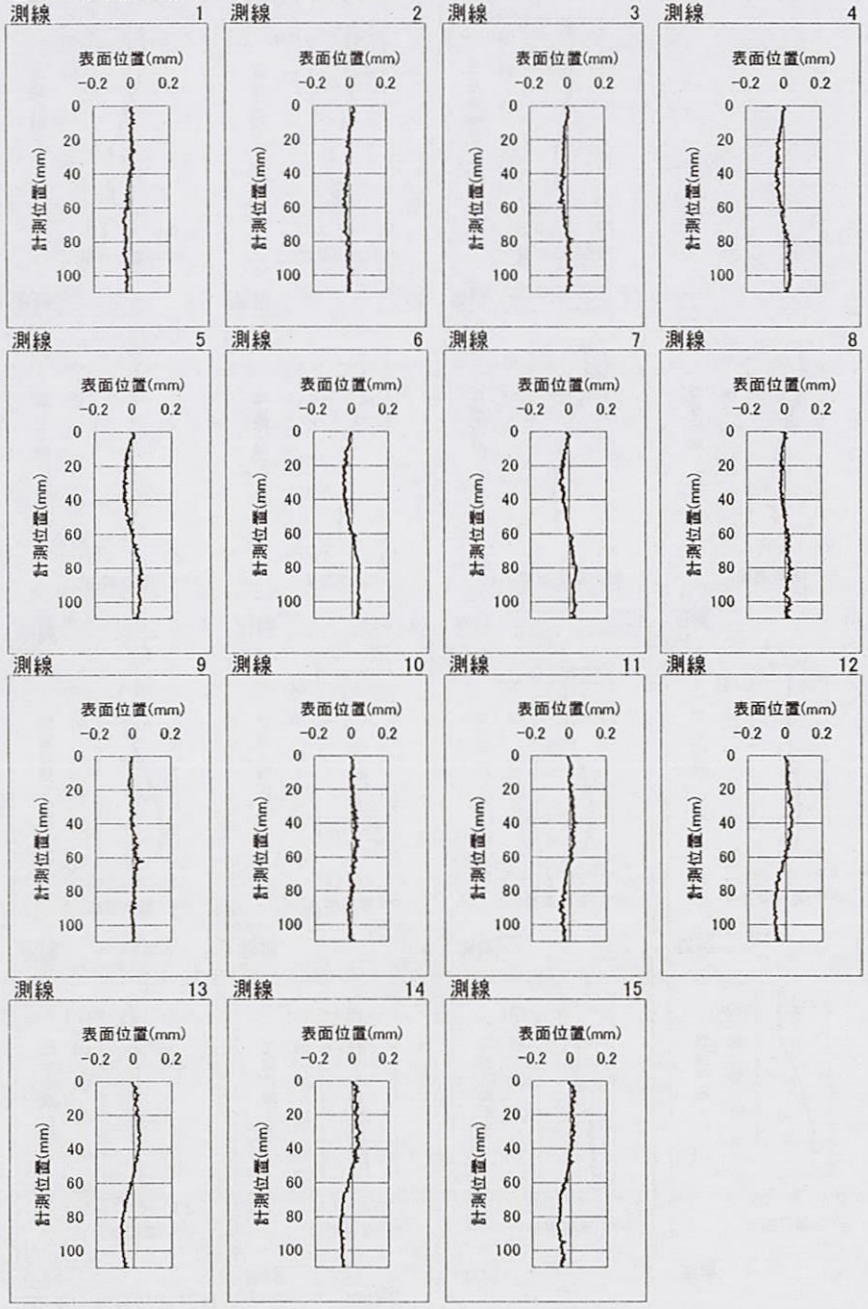


図-6.6 形状計測結果 specimen s3n2n3

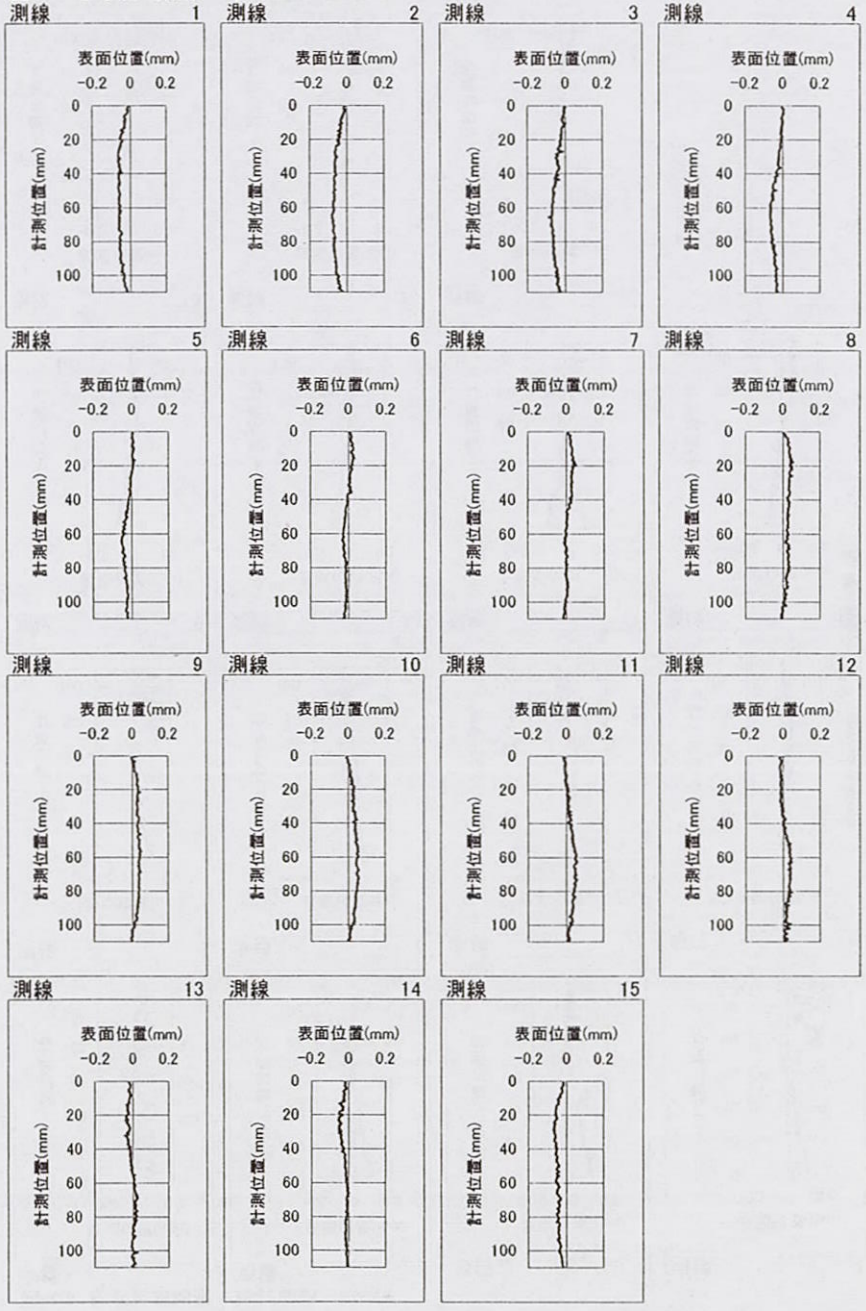


図-6.7 形状計測結果 specimen s3n3n2

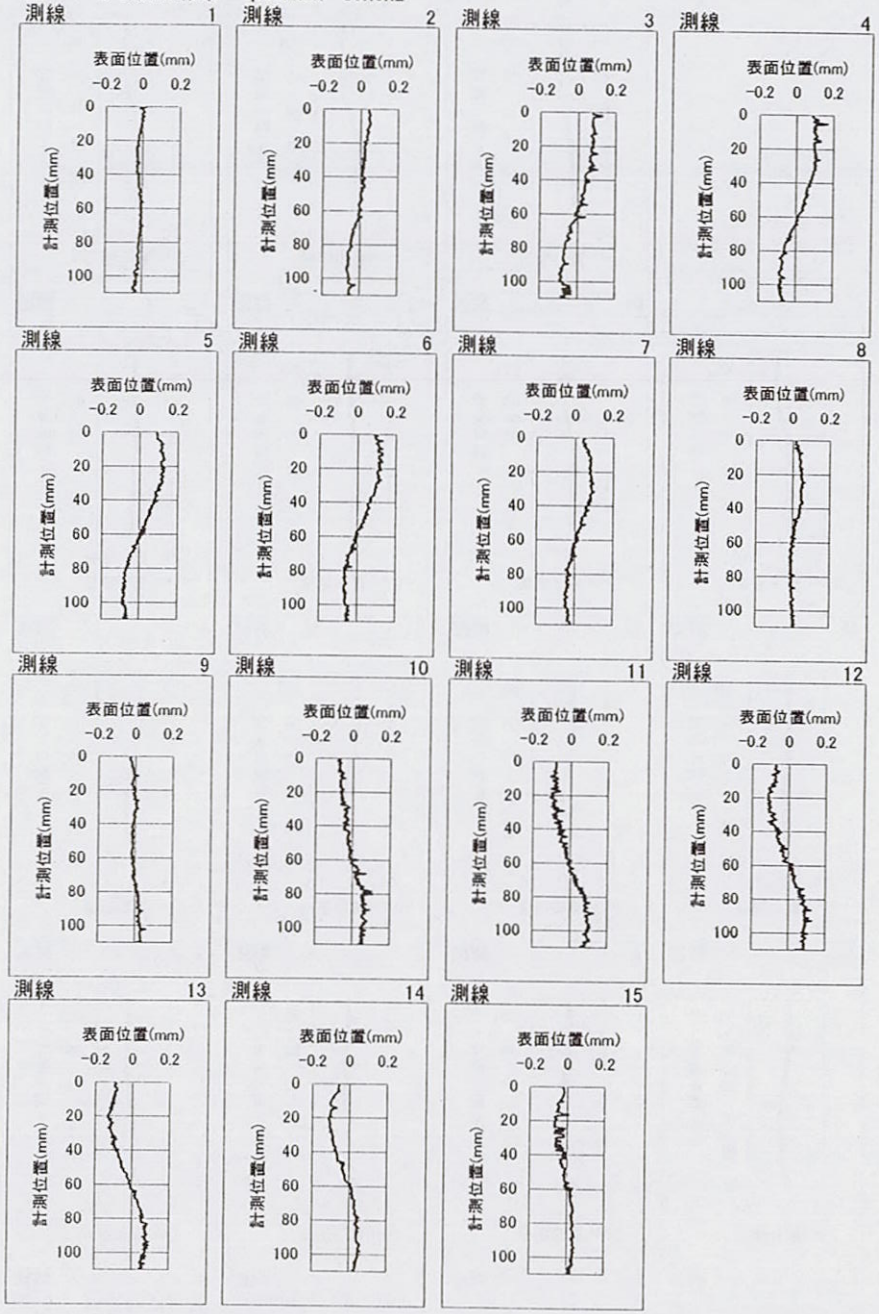


図-6.8 形状計測結果 specimen s3n3n6

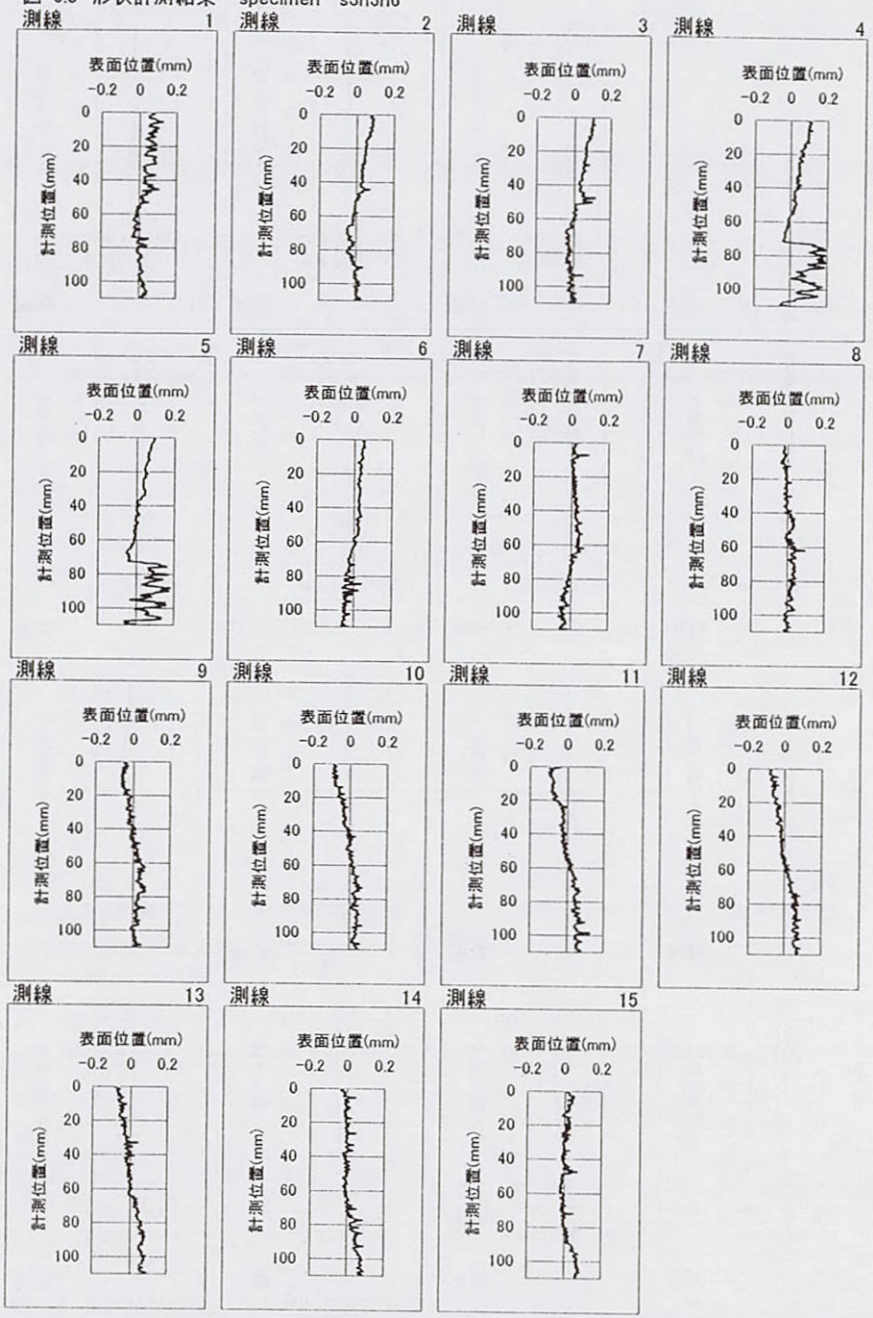


図-6.9 形状計測結果 specimen s3n3n9

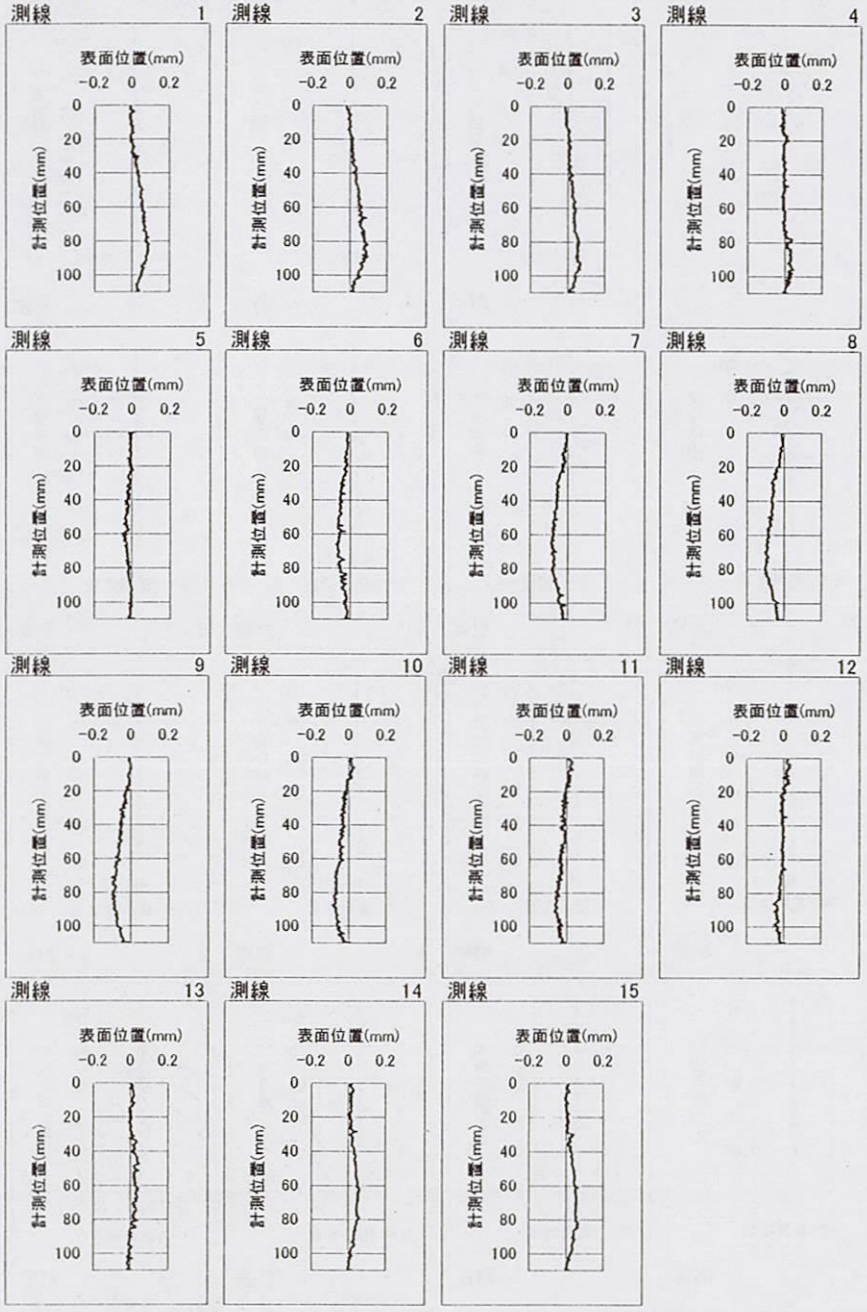


図-6.10 形状計測結果 specimen s3n4n1t

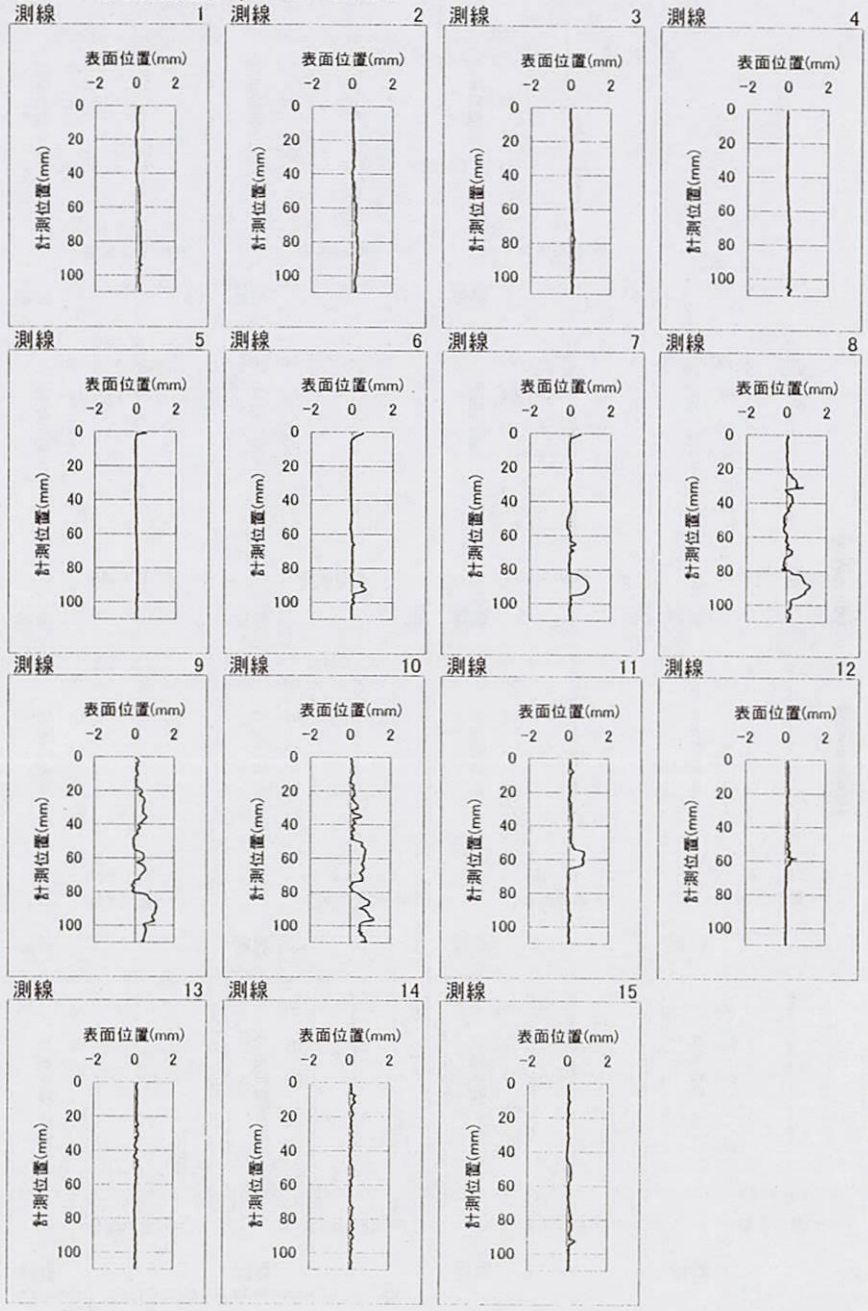
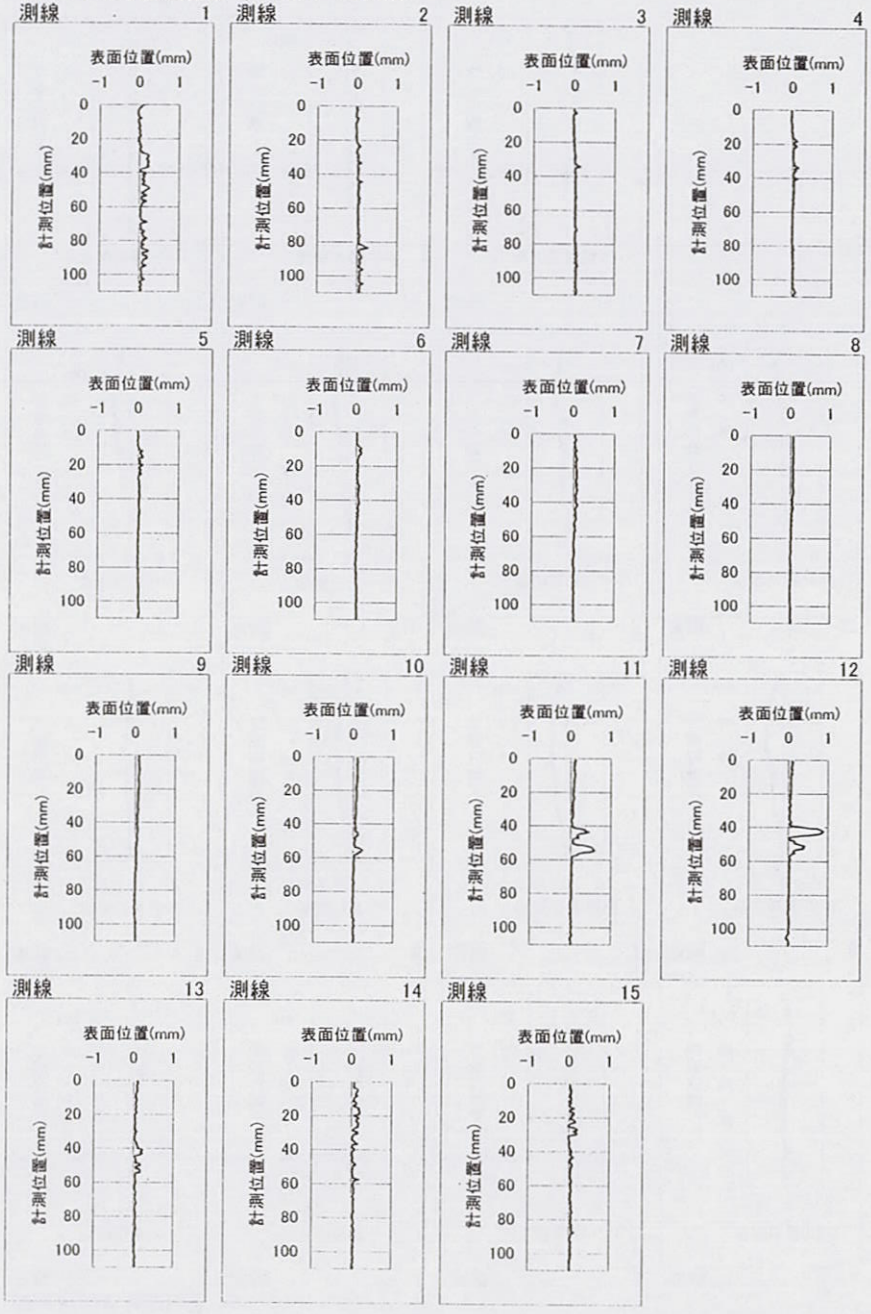


図-6.11 形状計測結果 specimen s3n4n3t



図－6.12 形状計測結果 specimen s3n4n5t

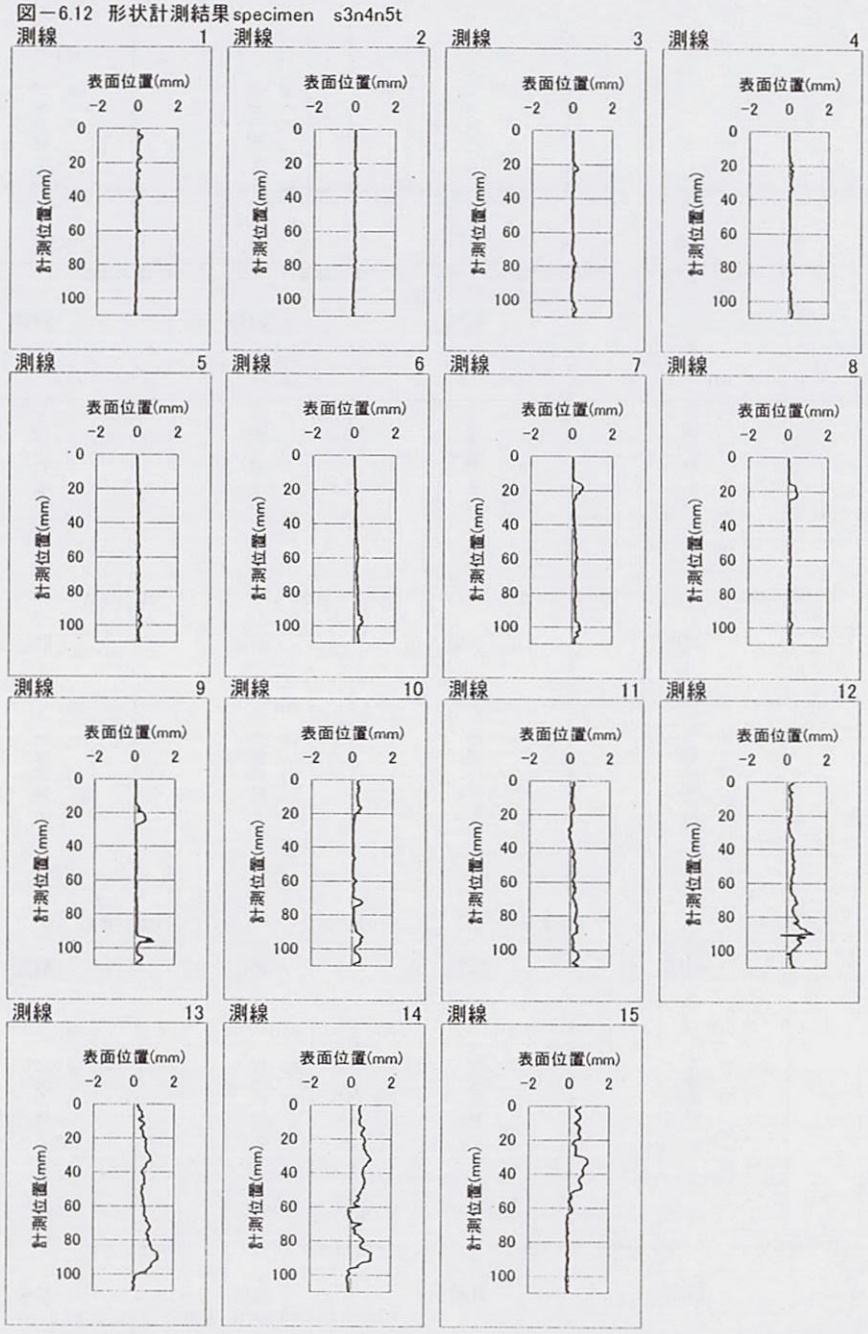


図-6.13 形状計測結果 specimen s3n5n1s

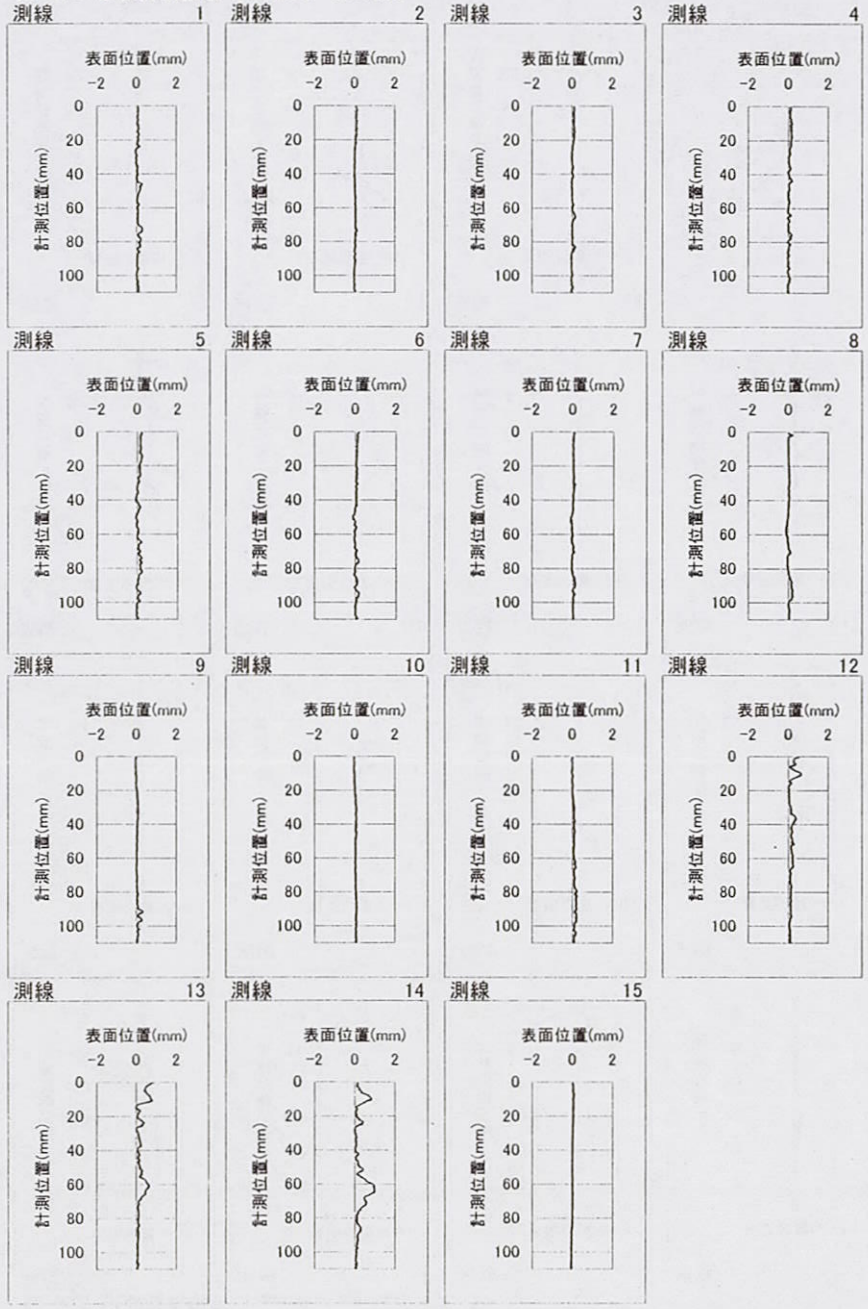


図-6.14 形状計測結果 specimen s3n5n2s

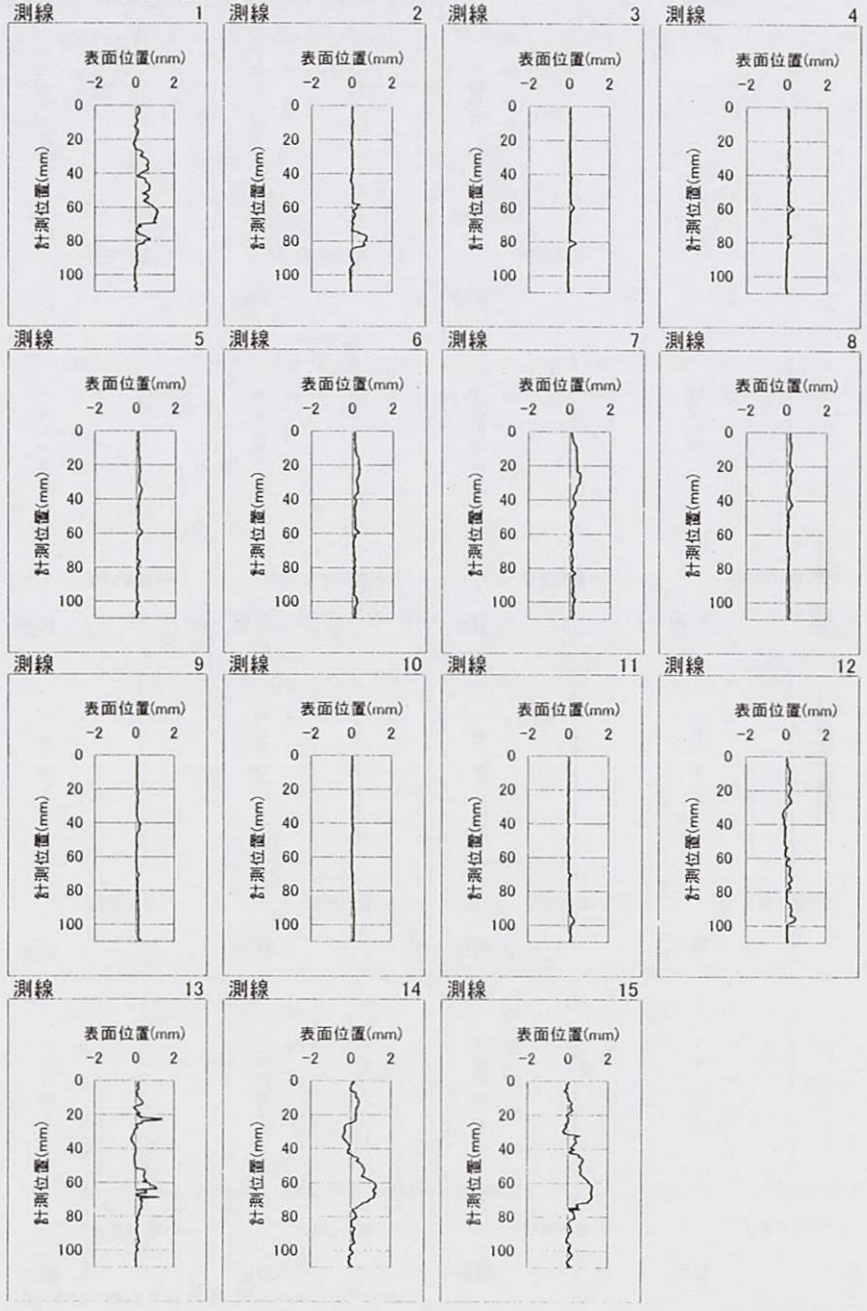


図-6.15 形状計測結果 specimen s3n5n3s

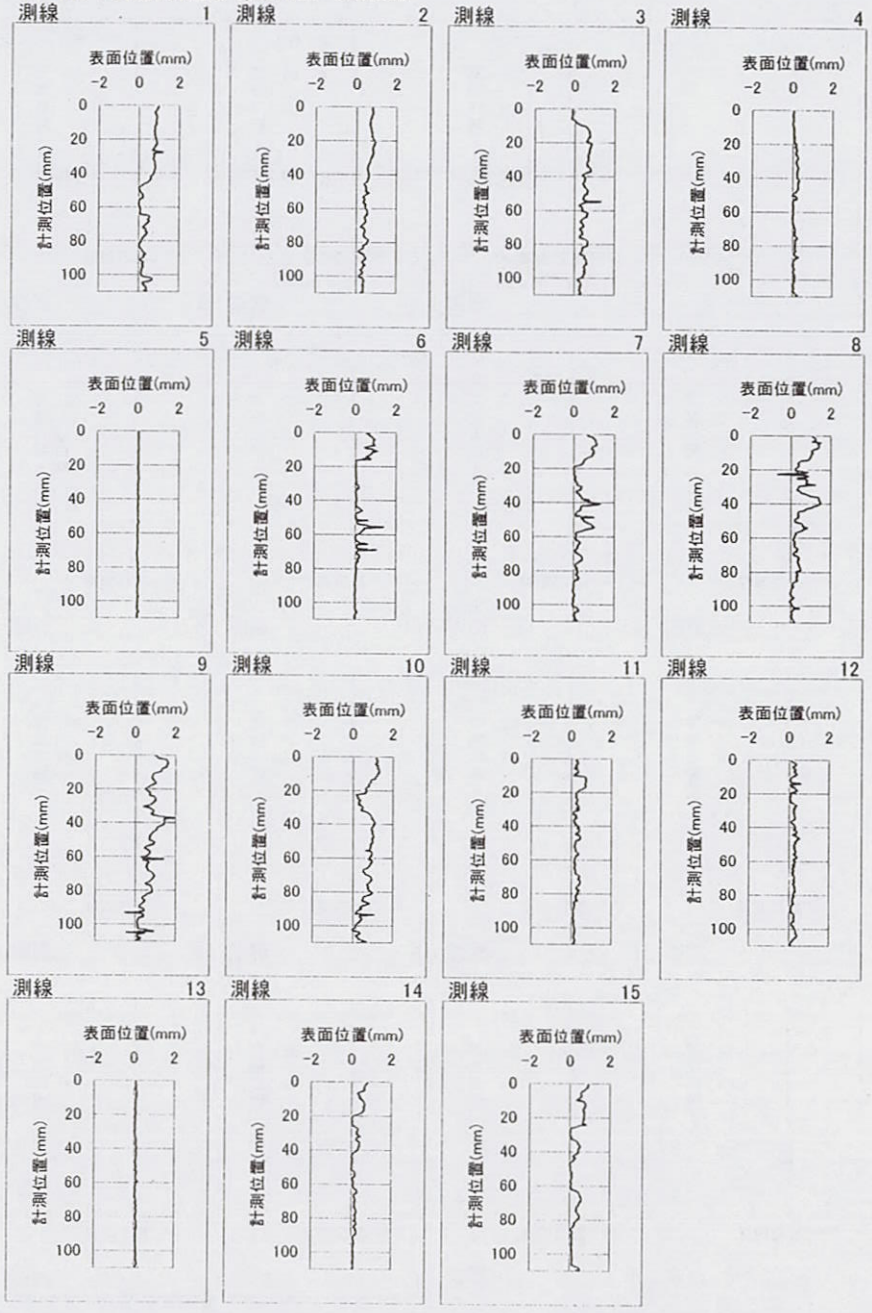


図-6.16 形状計測結果 specimen s3n5n4s

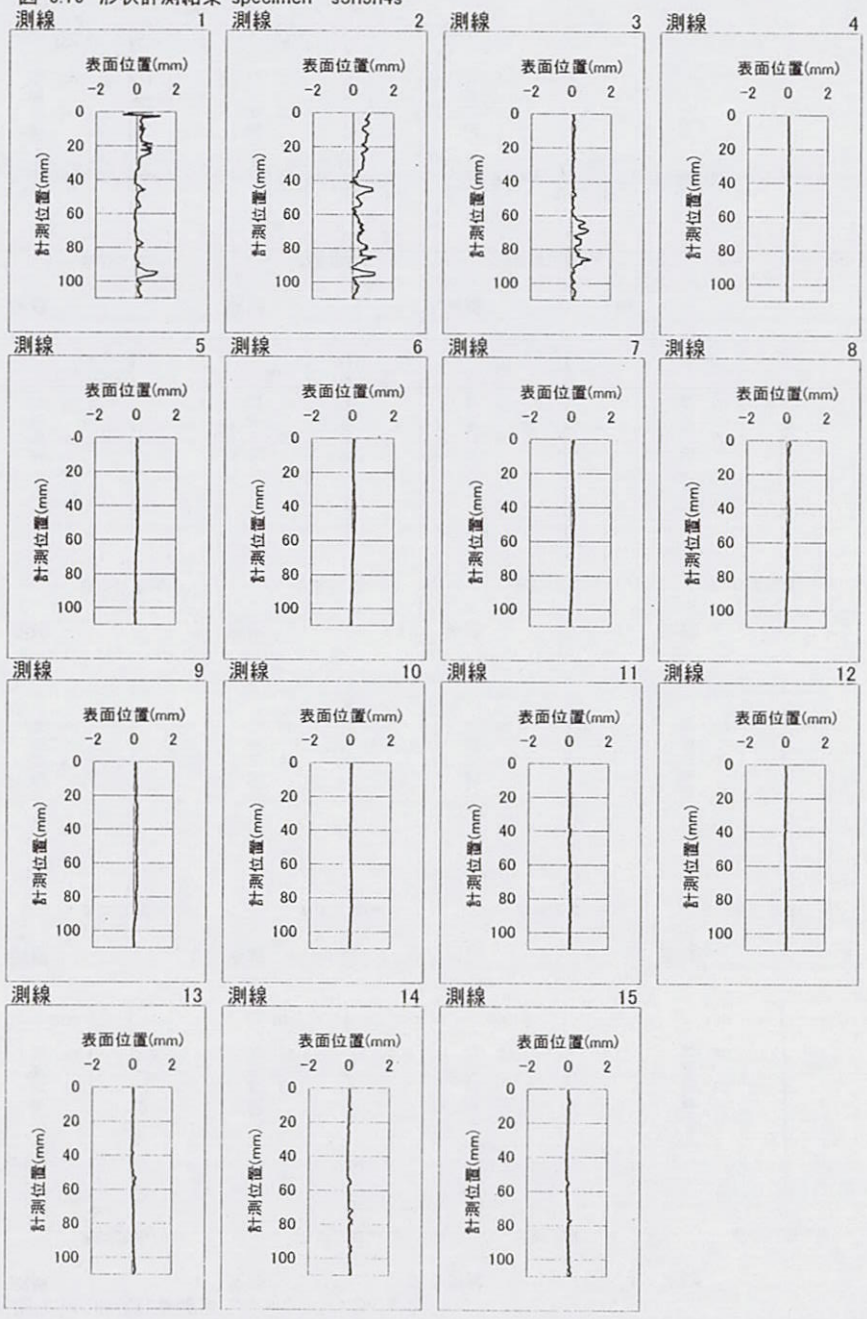


図-6.17 形状計測結果 specimen s3n5n1

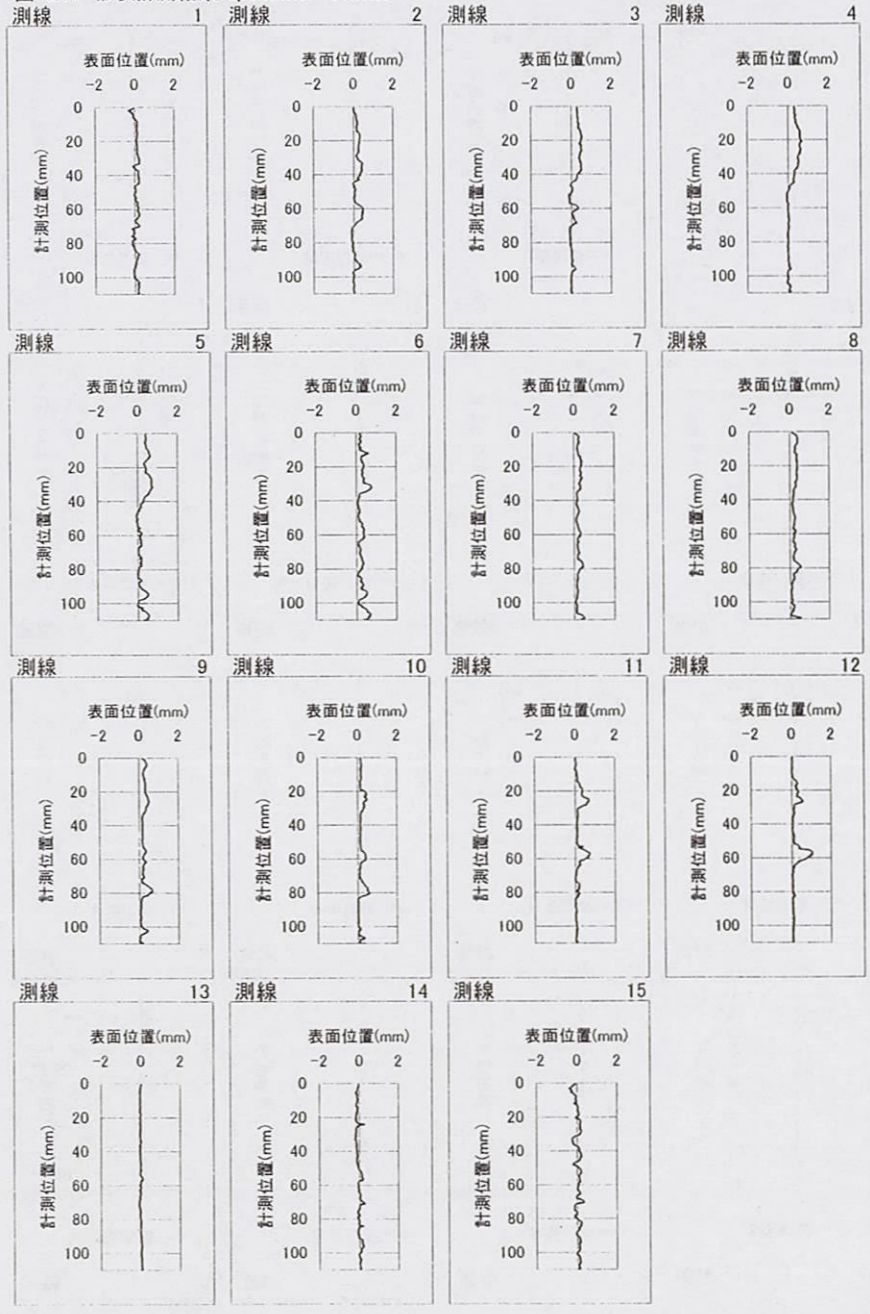


図-6.18 形状計測結果 specimen s3n5n6

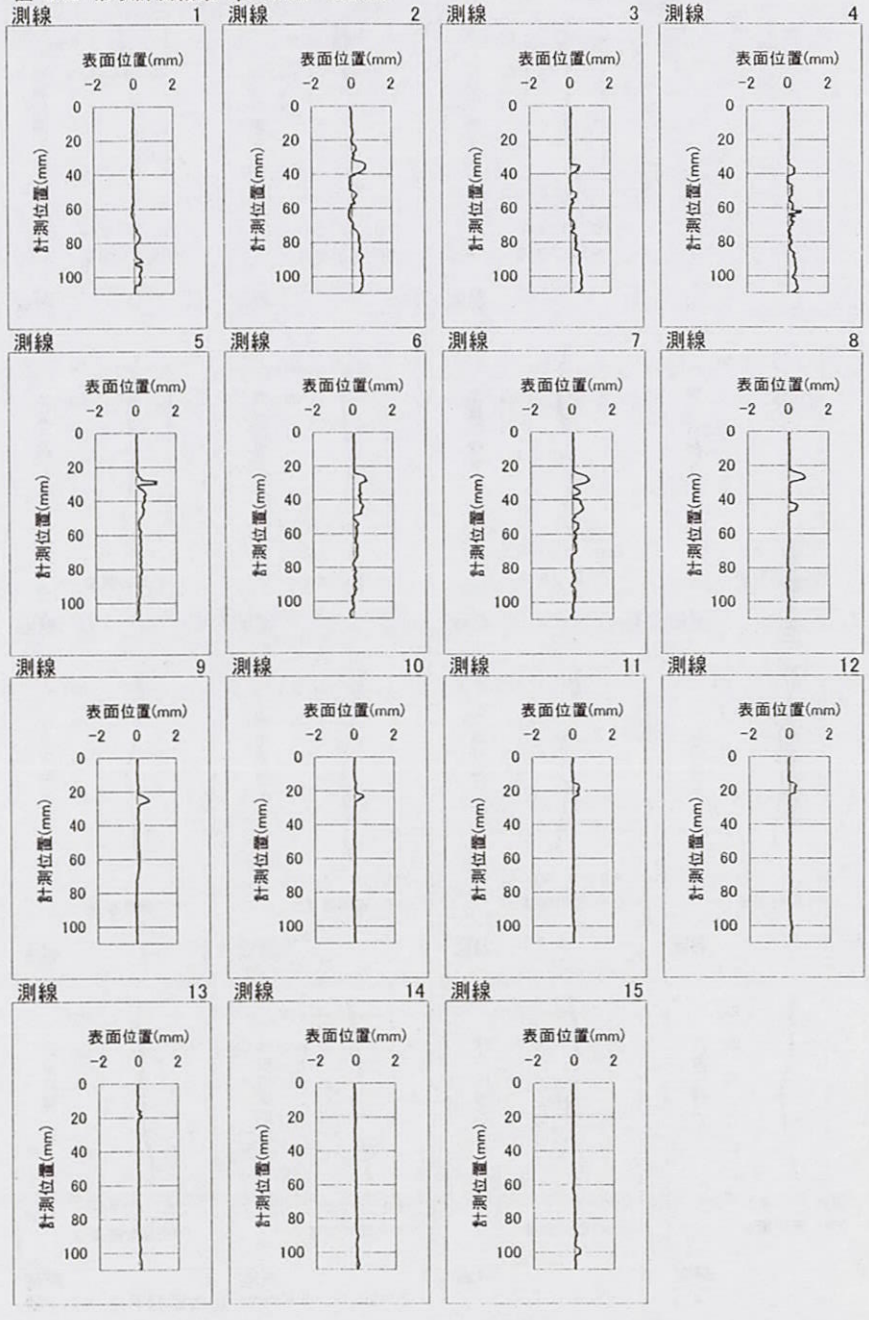


図-6.19 形状計測結果 specimen s3n5n31

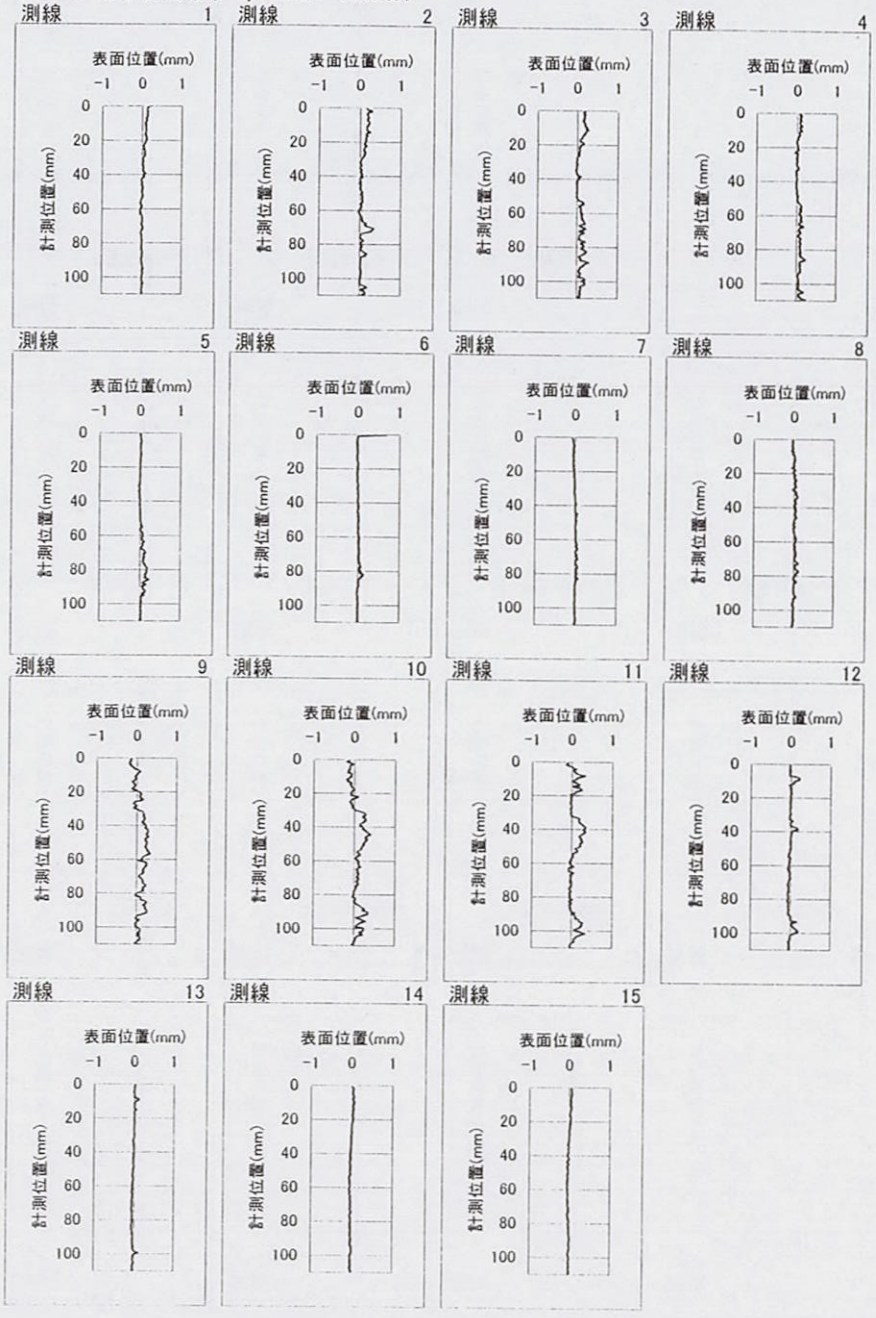


図-6.20 形状計測結果 specimen s3n5n32

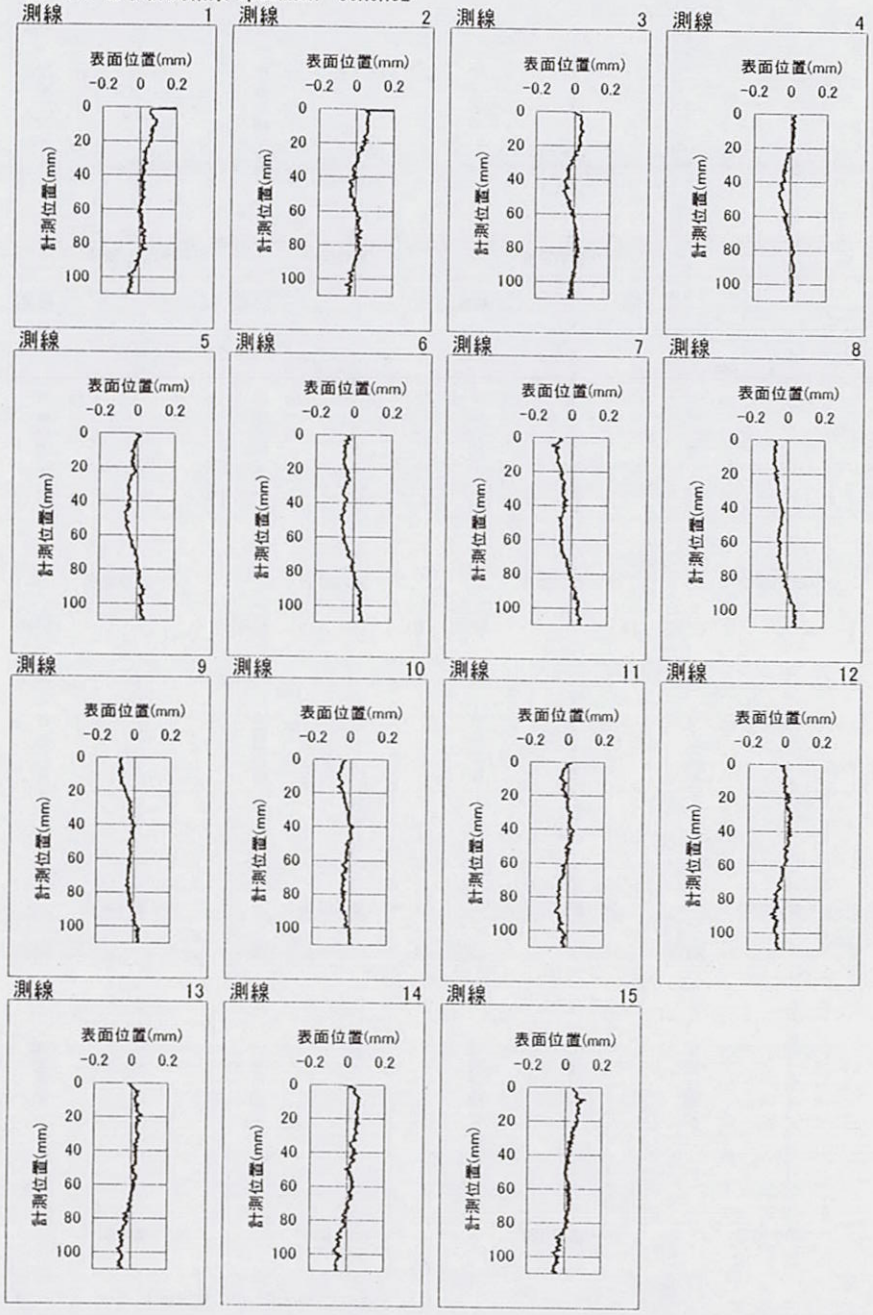


図-6.21 形状計測結果 specimen s3n6n1

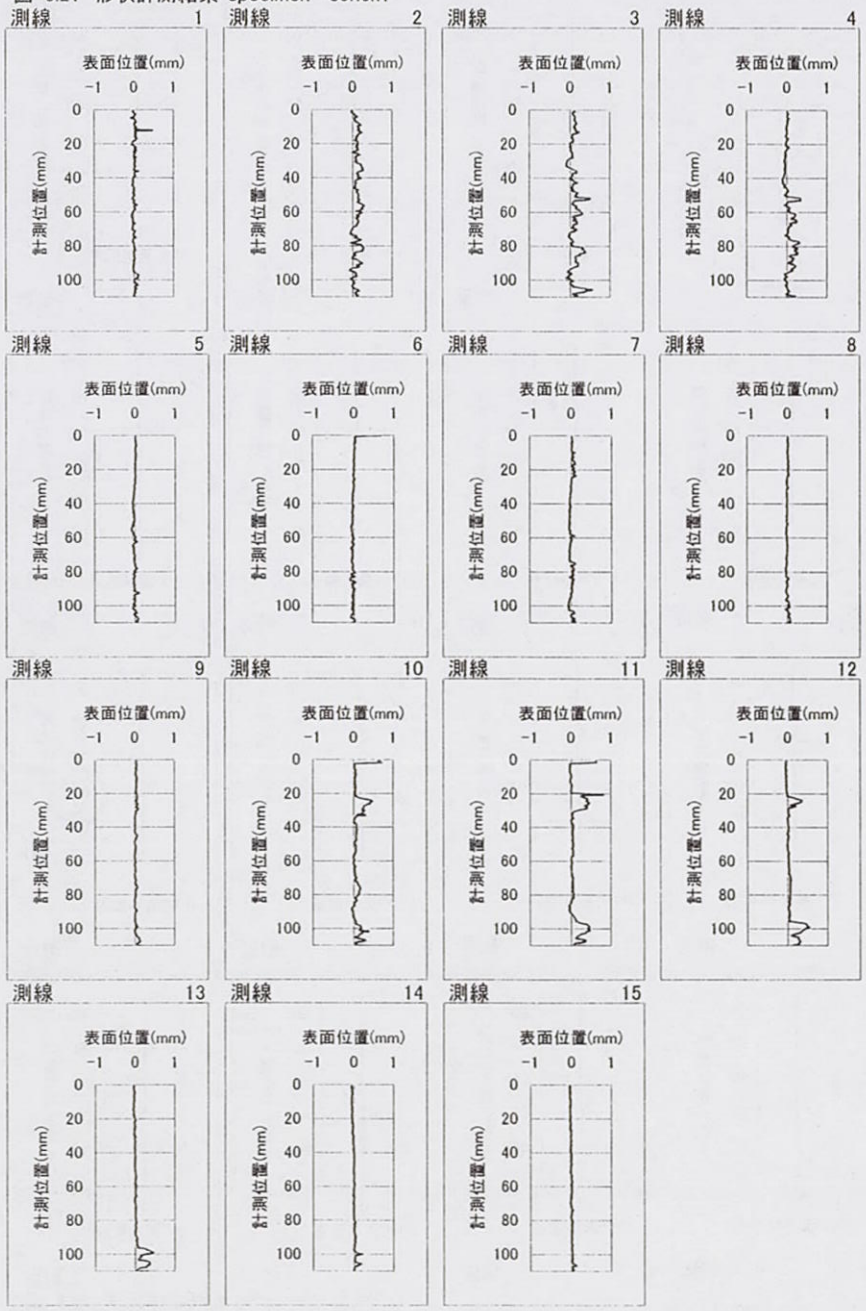


図-6.22 形状計測結果 specimen s3n6n2

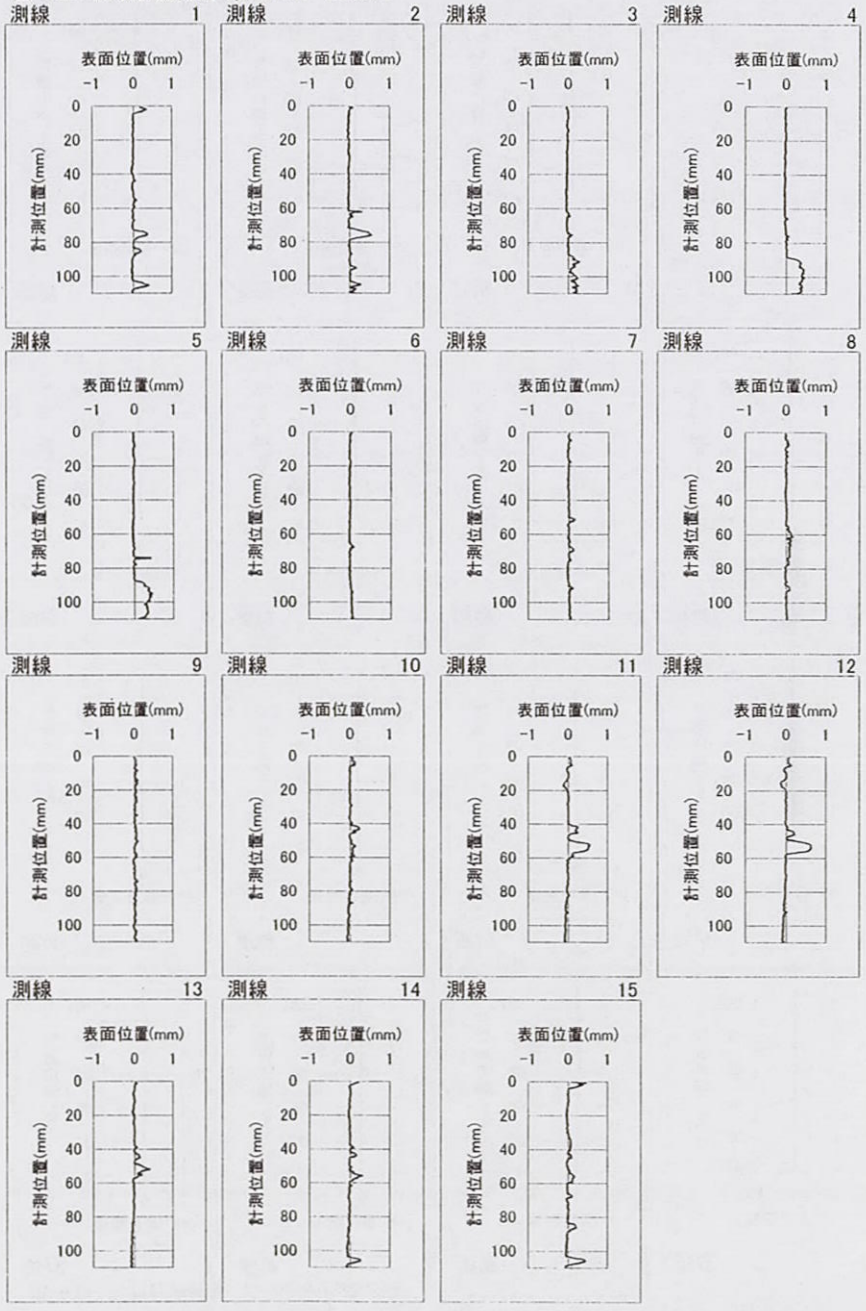


図-6.23 形状計測結果 specimen s3n6n3

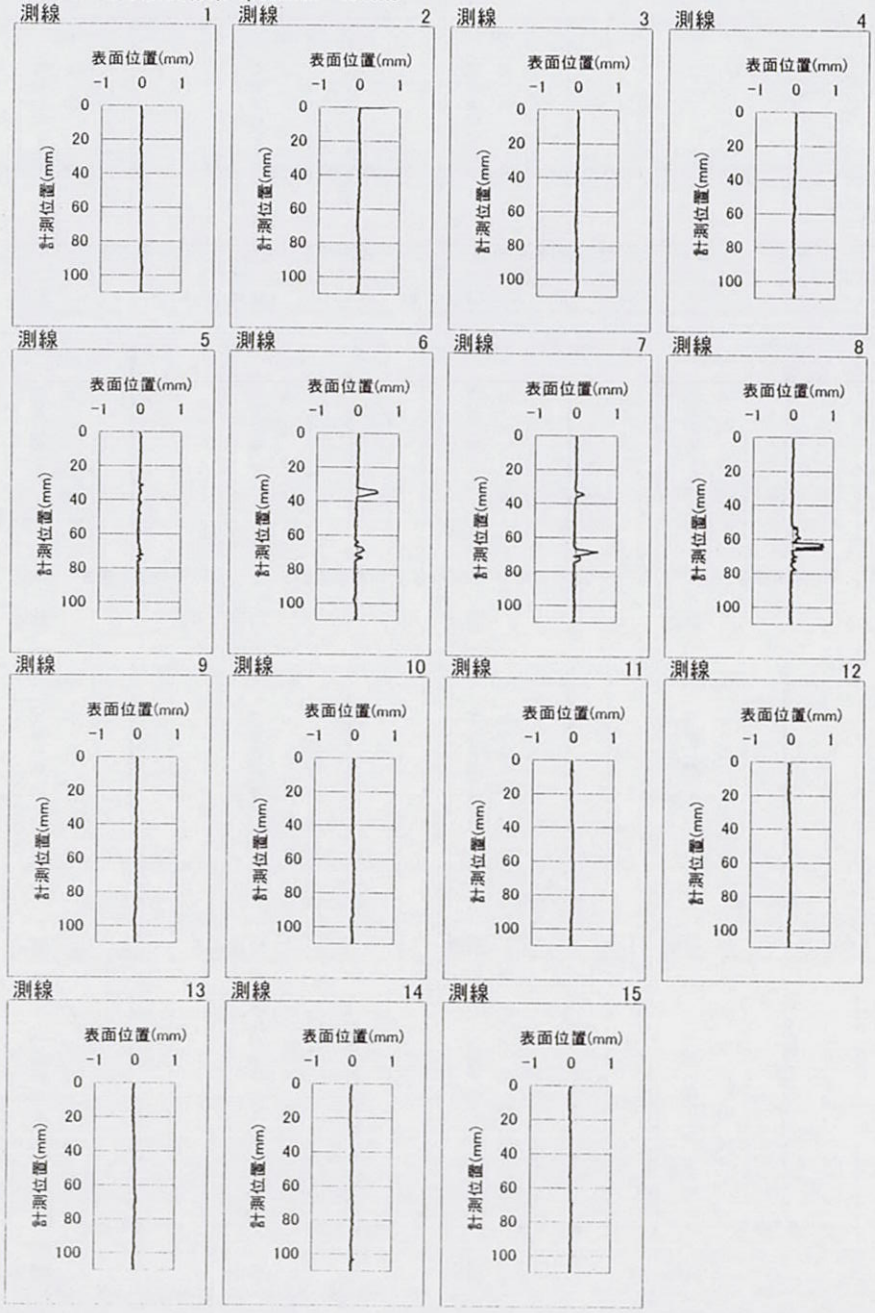


図-6.24 形状計測結果 specimen s3n6n4

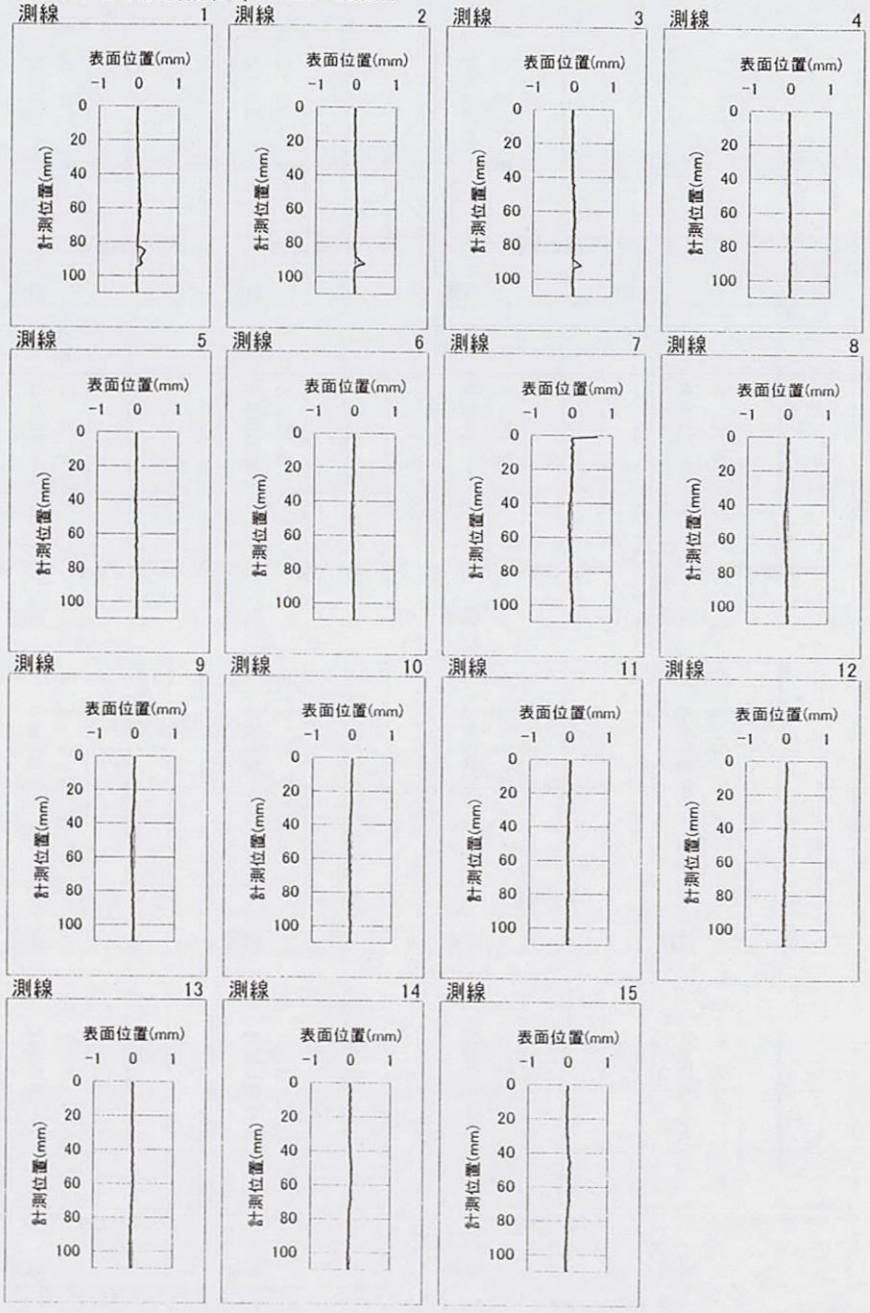


図-6.25 形状計測結果 specimen s3n6n7

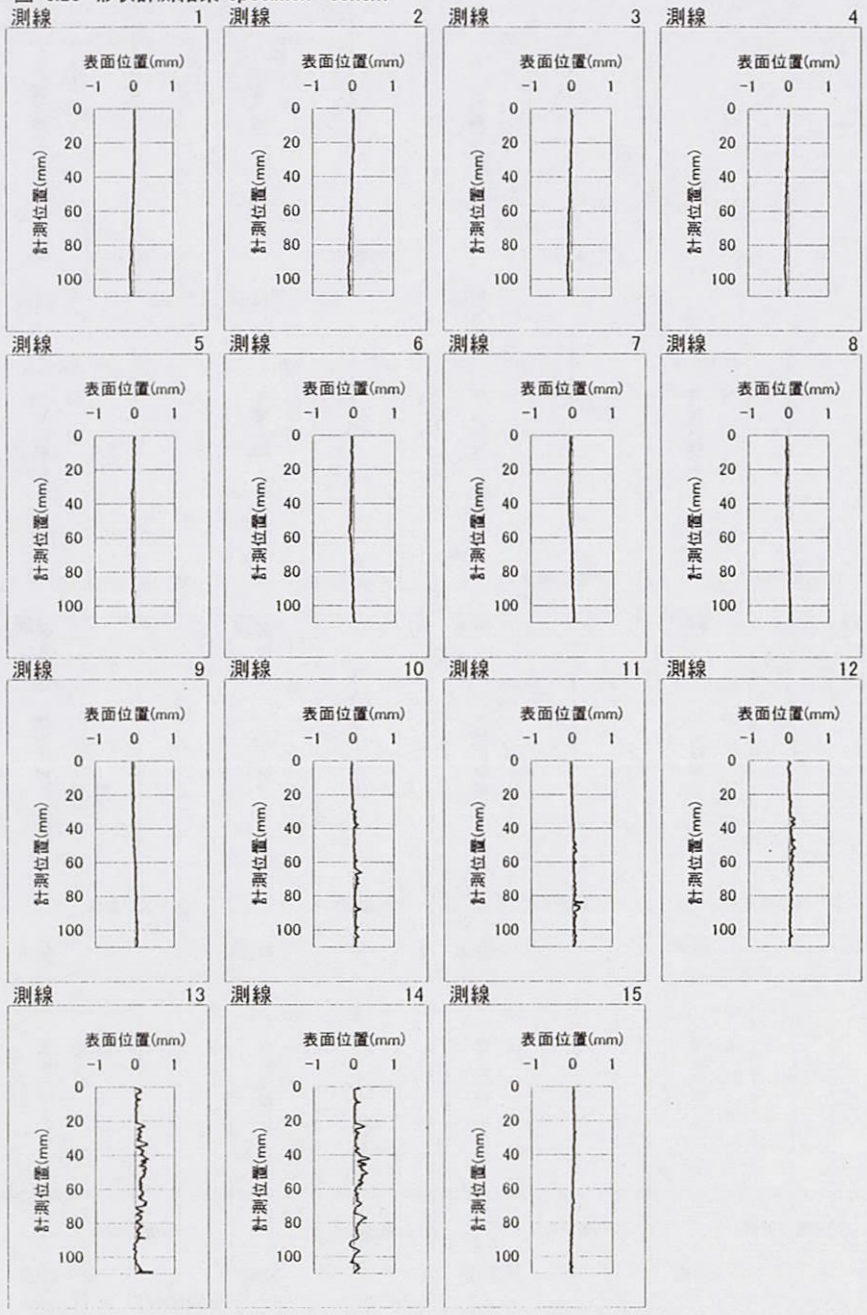


図-6.26 形状計測結果 specimen s3n6n18

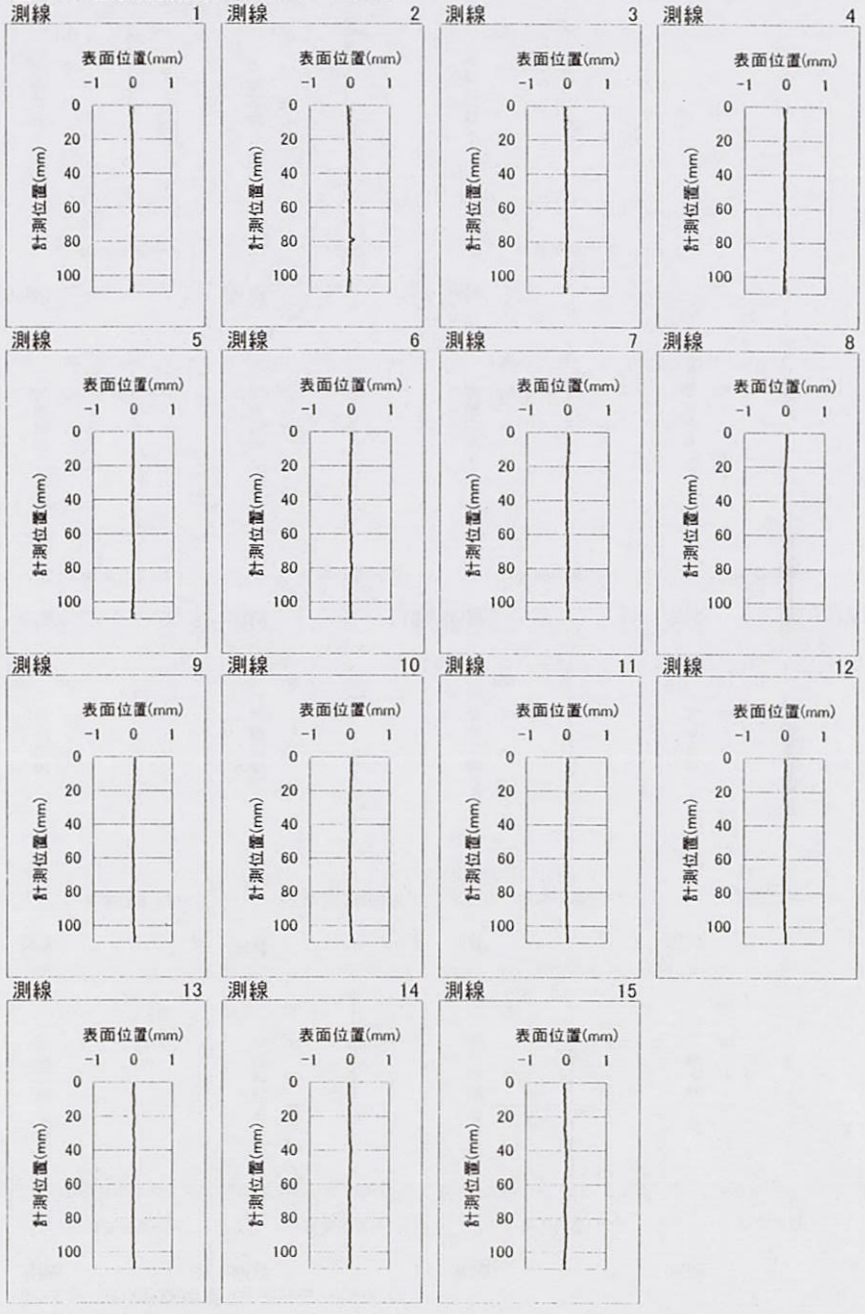


図-6.27 形状計測結果 specimen s3n6n31

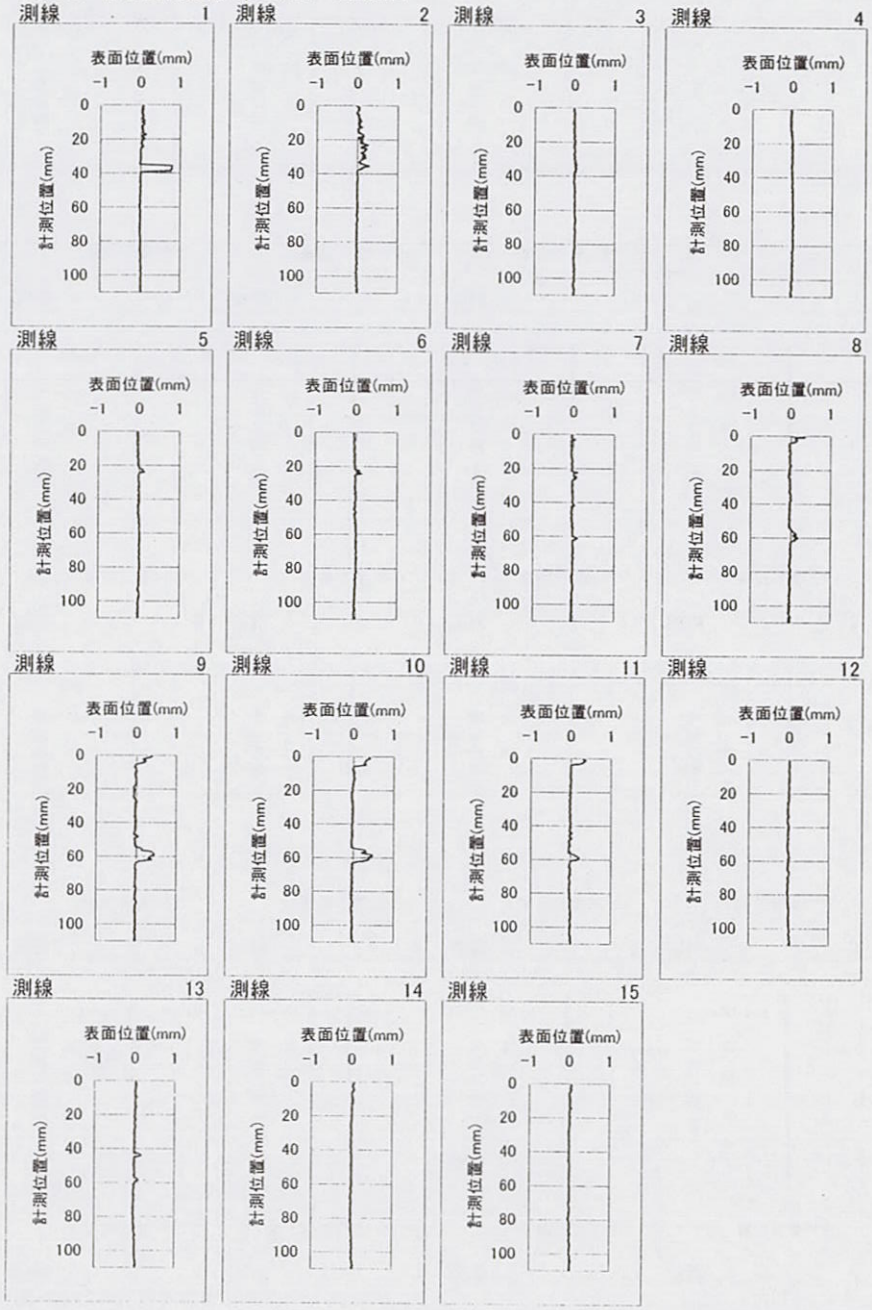


図-6.28 形状計測結果 specimen s3n6n32

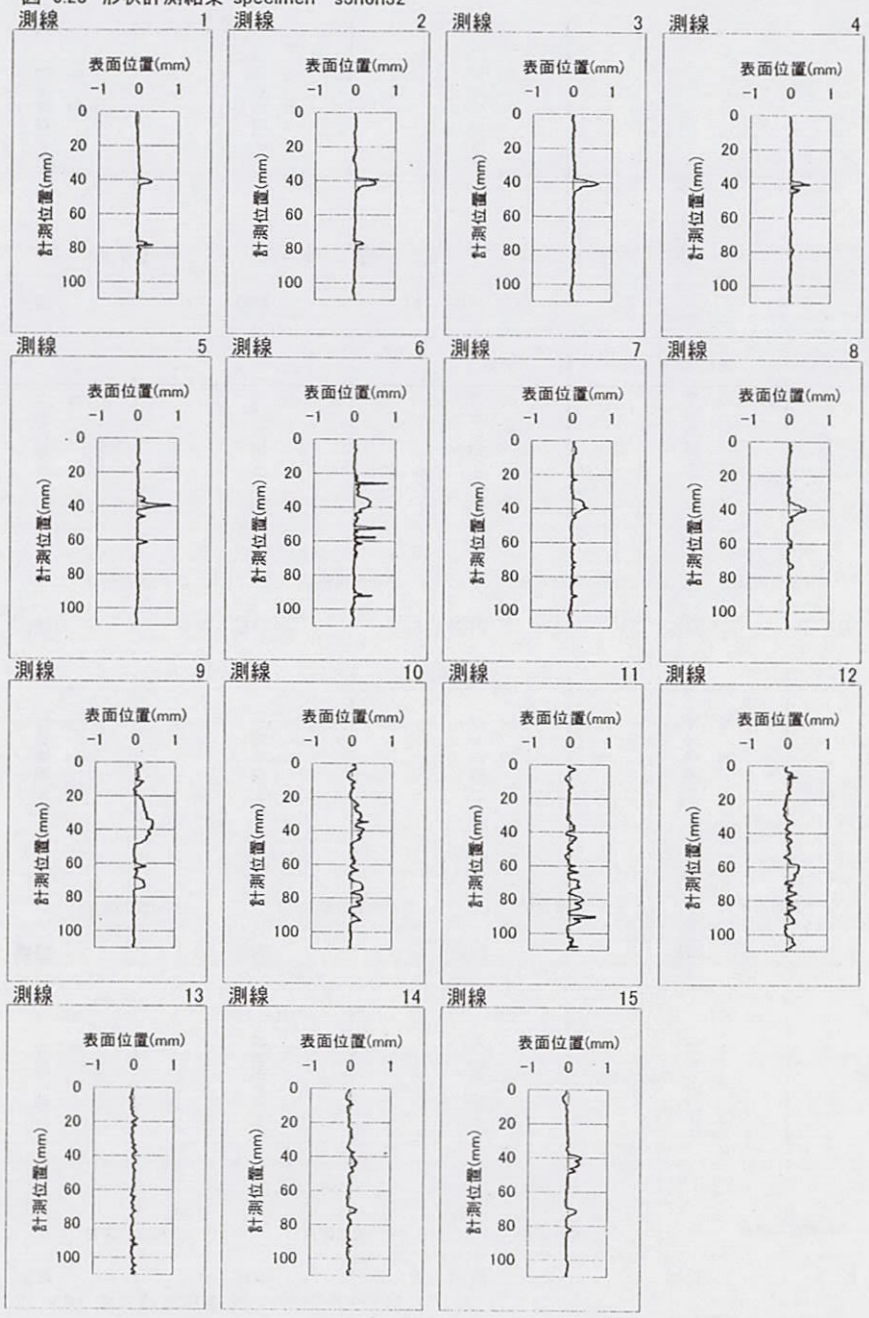


図-6.29 形状計測結果 specimen s3n6n33

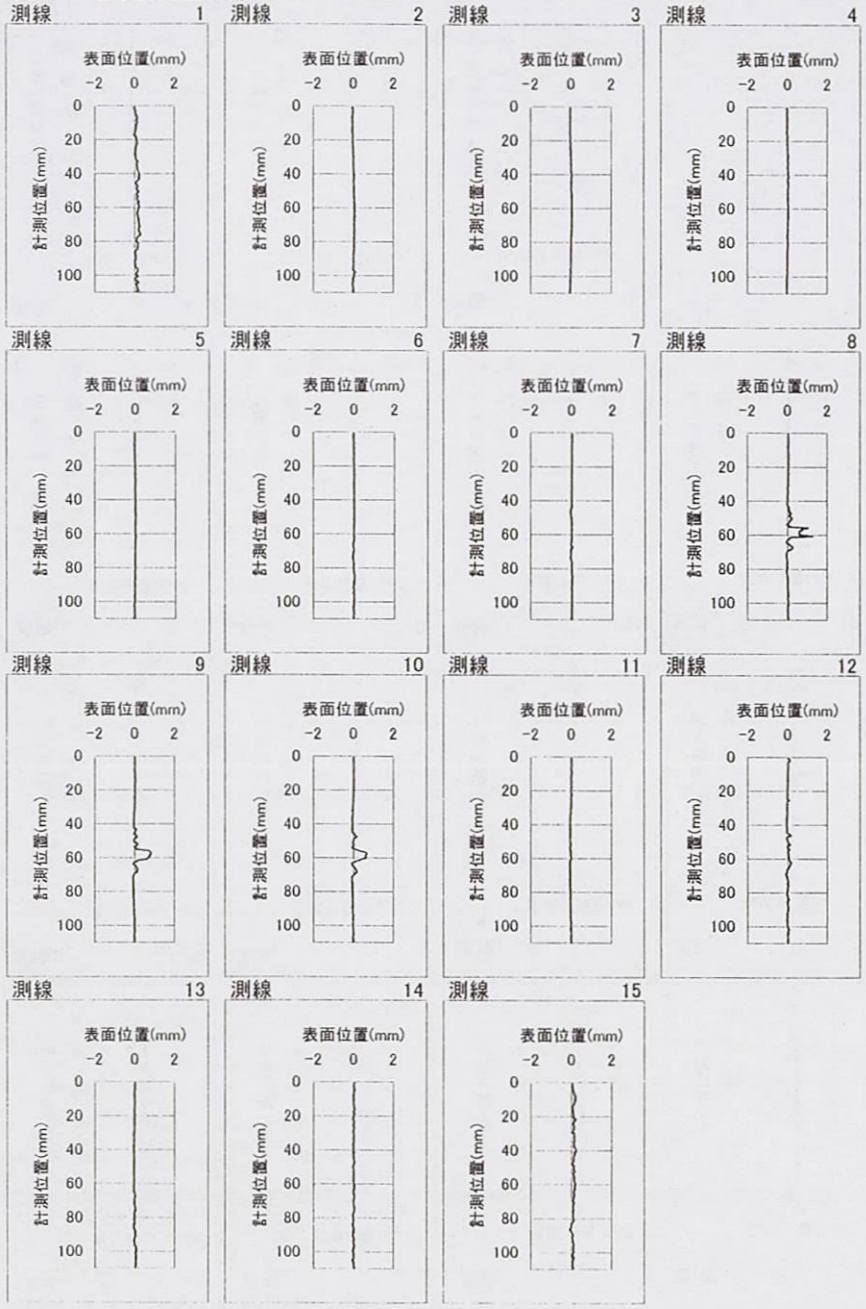


図-6.30 形状計測結果 specimen s3n6n34

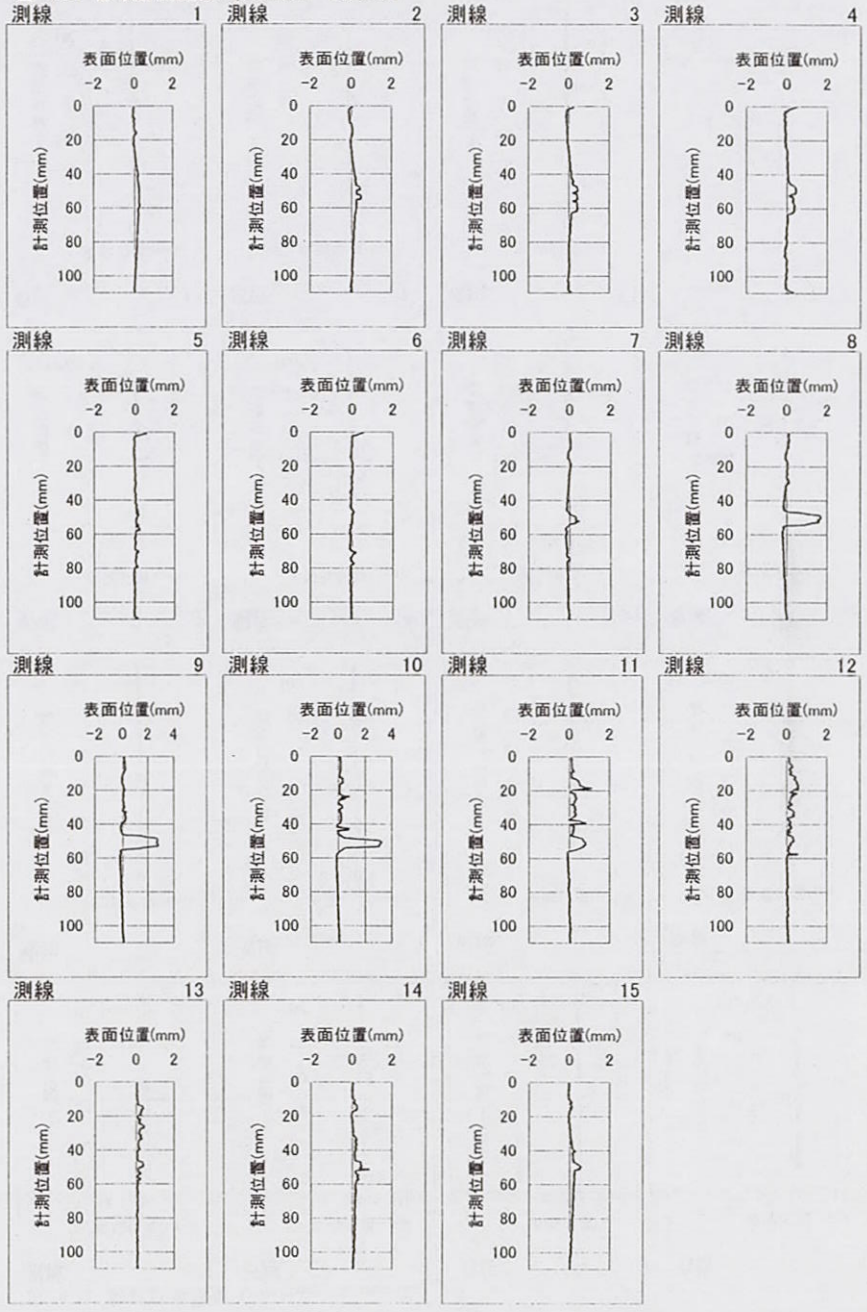


図-6.31 形状計測結果 specimen s3n6n40

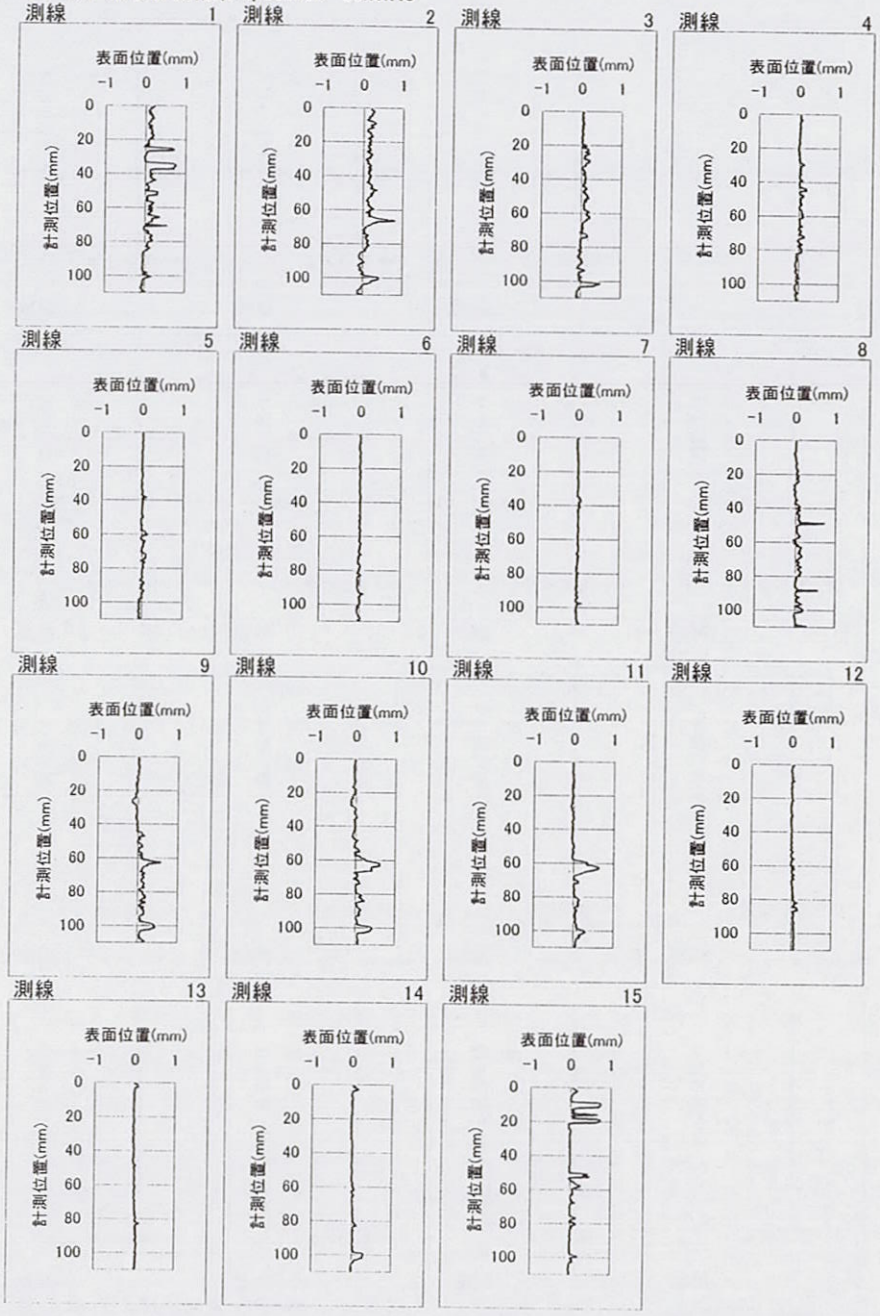


図-6.32 形状計測結果 specimen s3n6n41

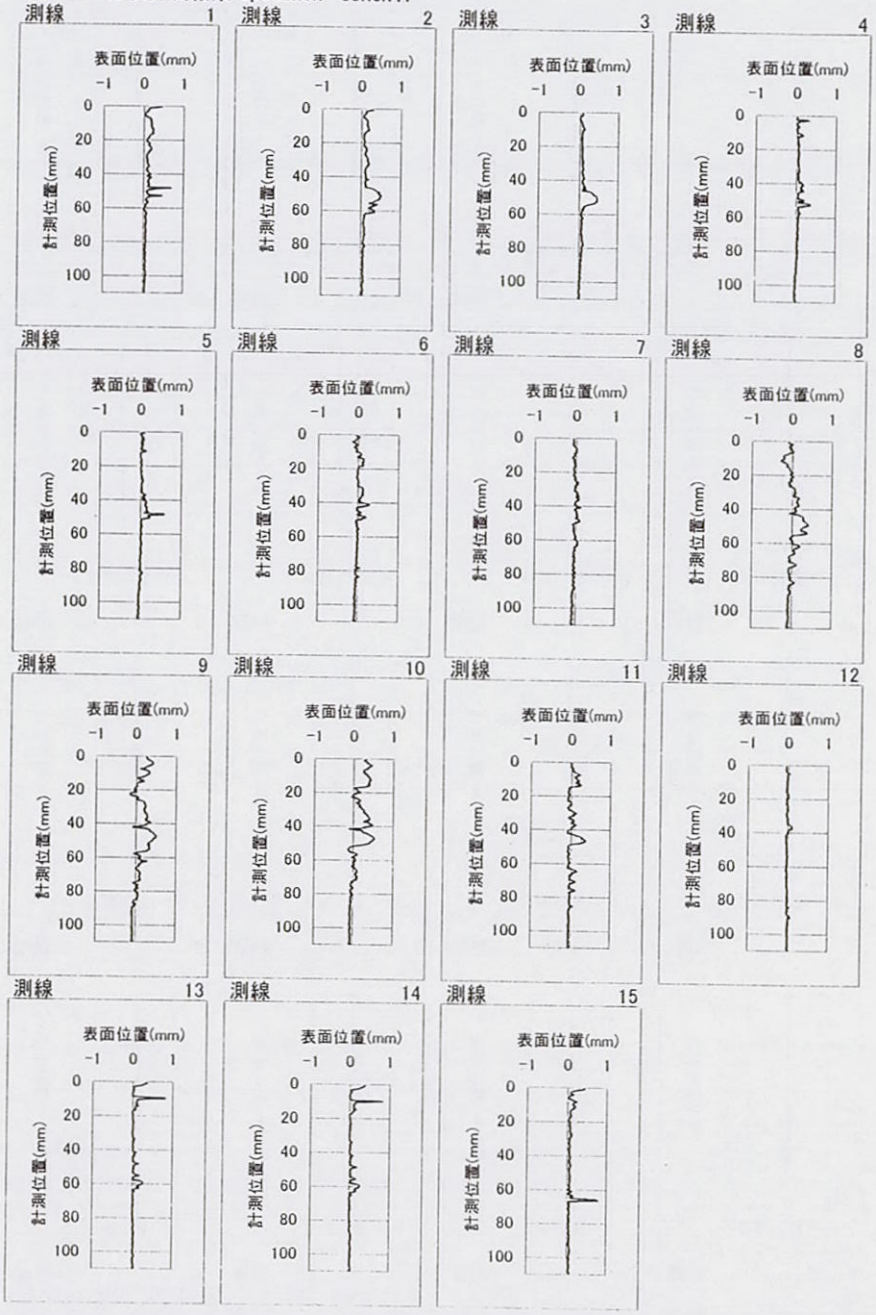


図-6.33 形状計測結果 specimen s3n6n42

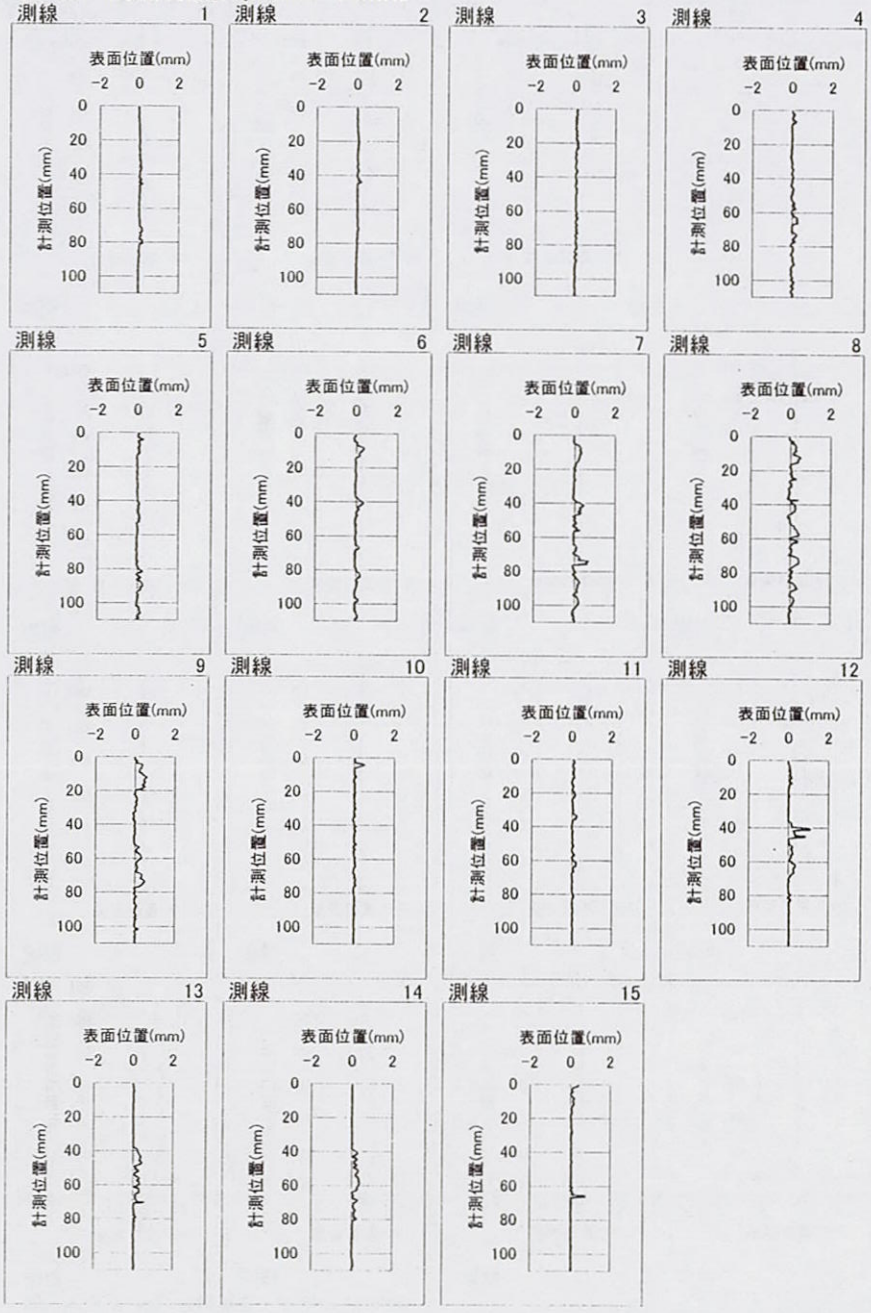
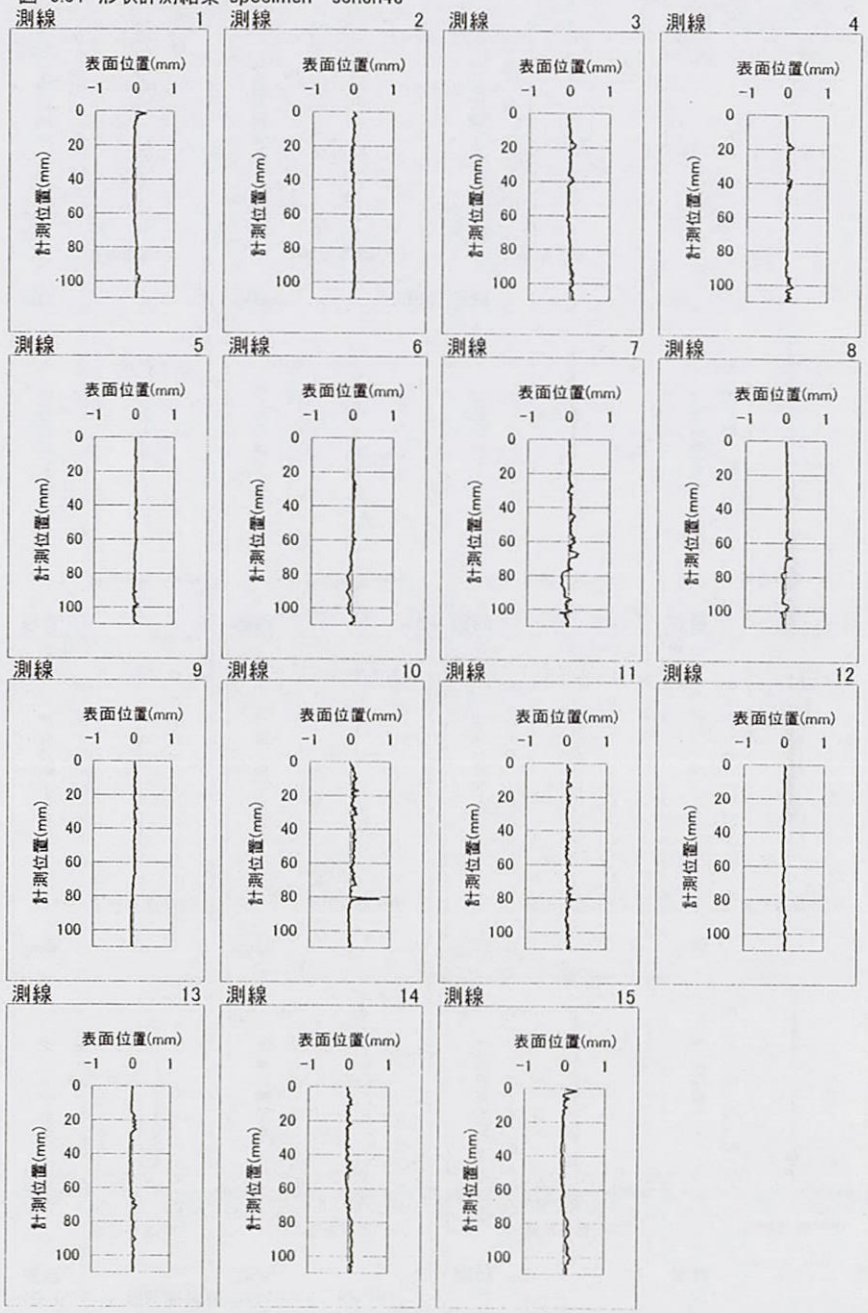


図-6.34 形状計測結果 specimen s3n6n46



図－6.35 形状計測結果 specimen s3n6n47

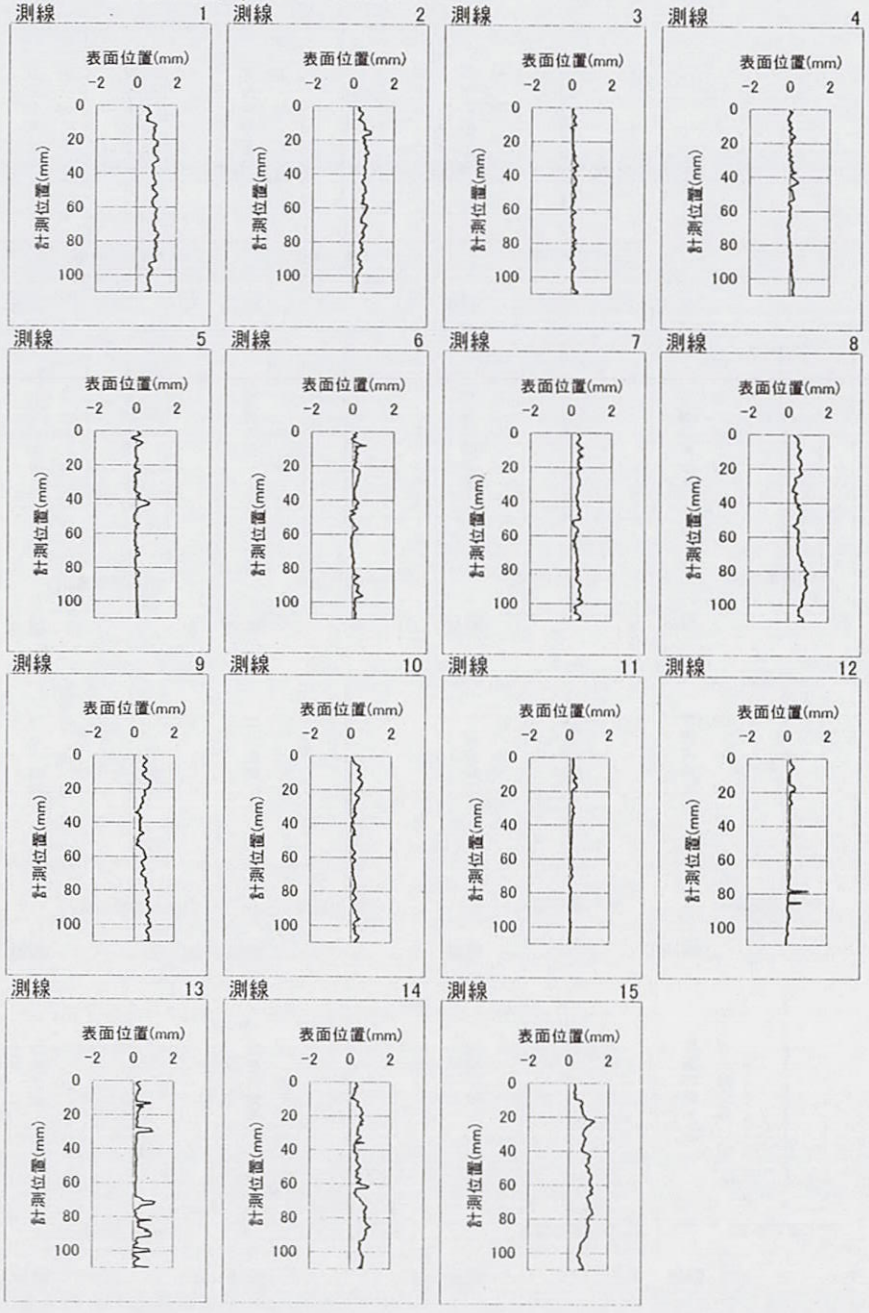


図-6.36 形状計測結果 specimen s3n7n1

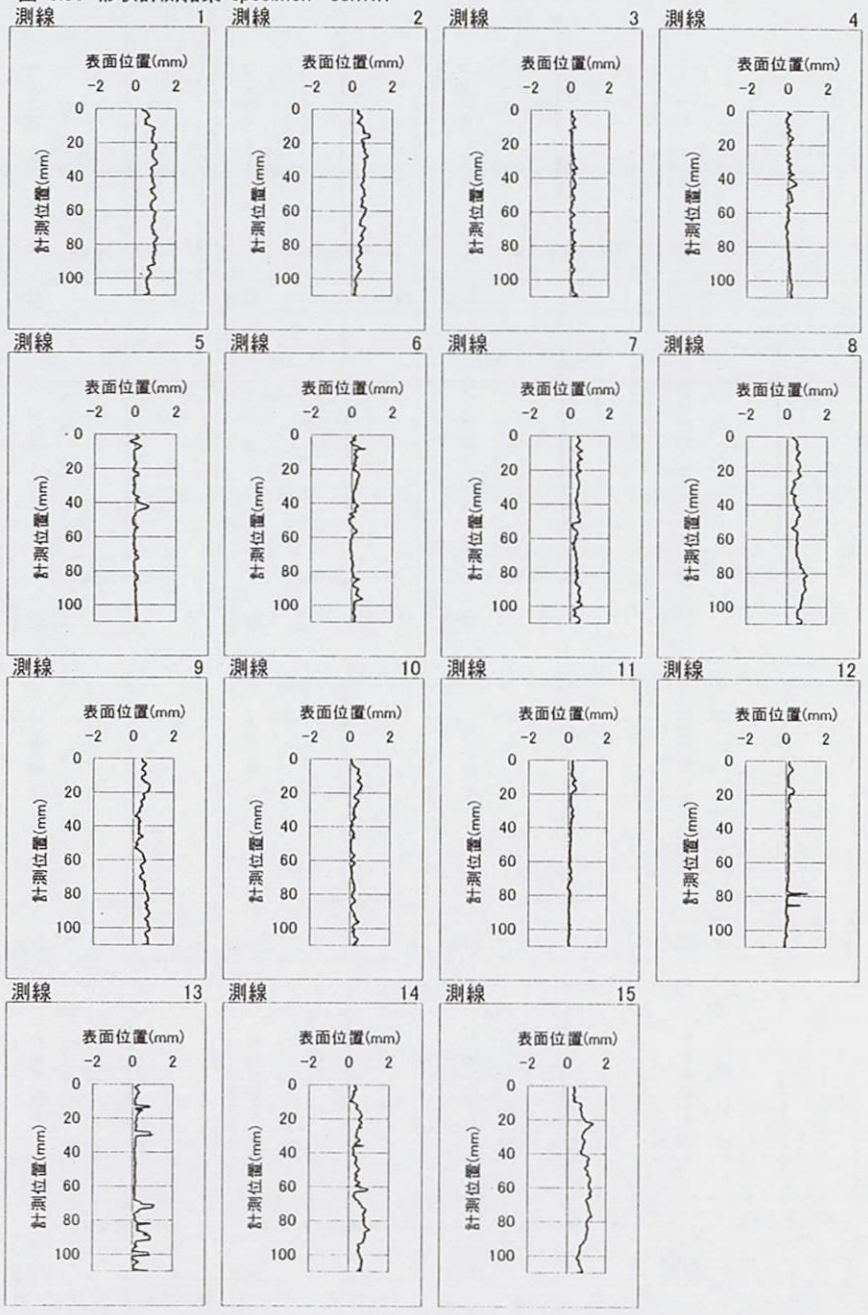
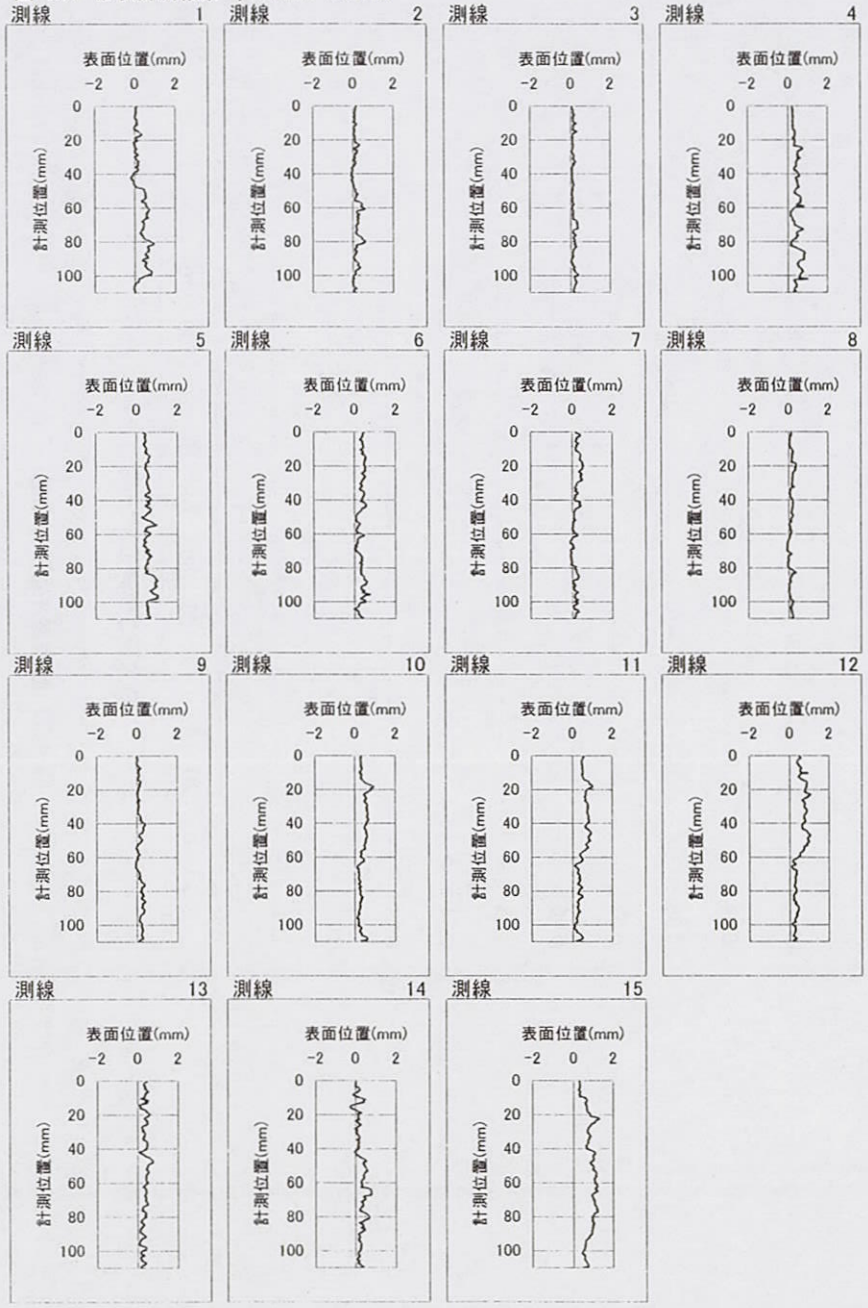


図-6.37 形状計測結果 specimen s3n7n6



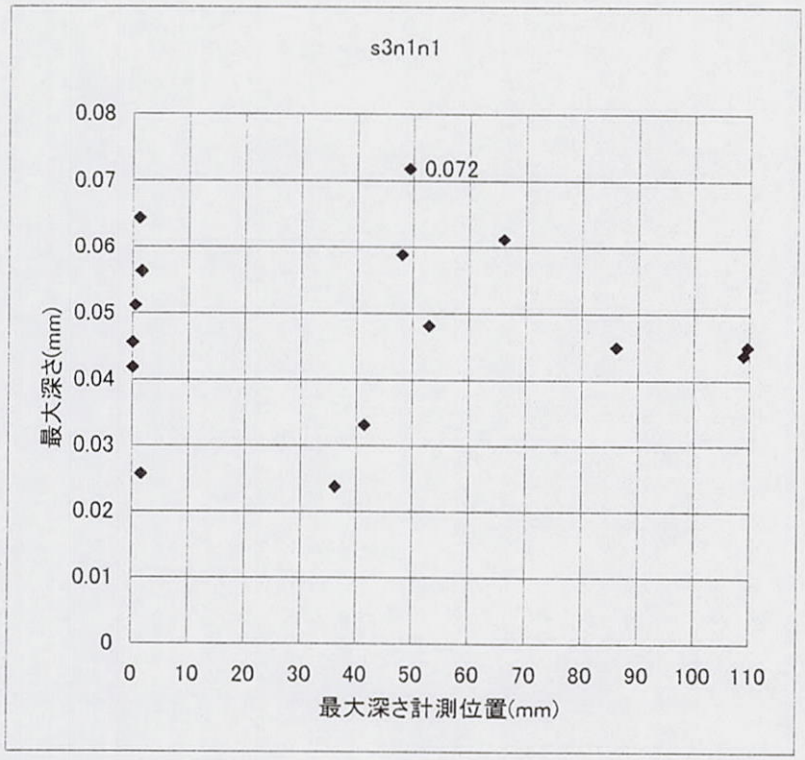


図-6.38 最大深さ位置分布図

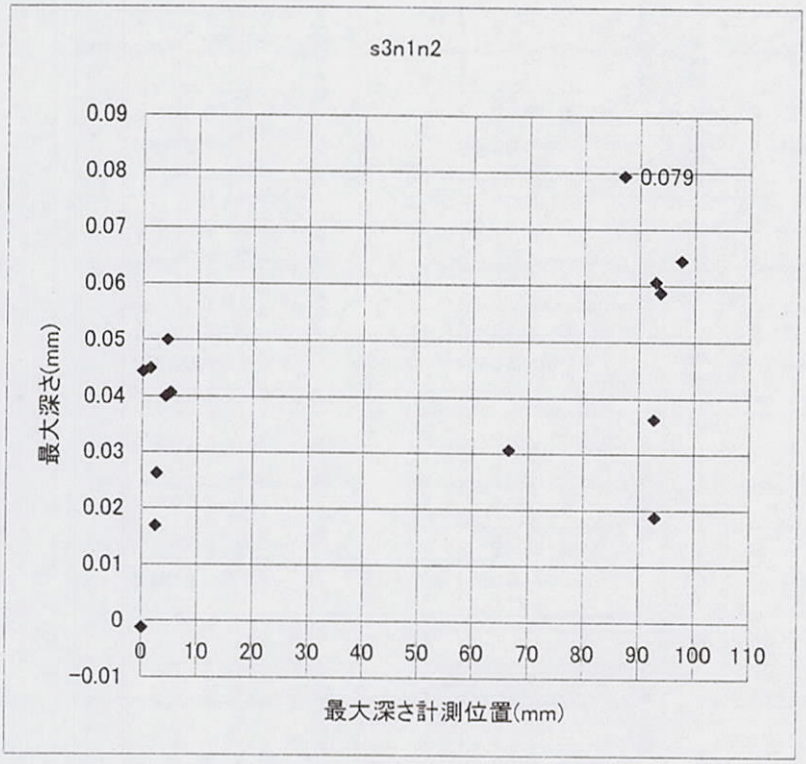


図-6.39 最大深さ位置分布図

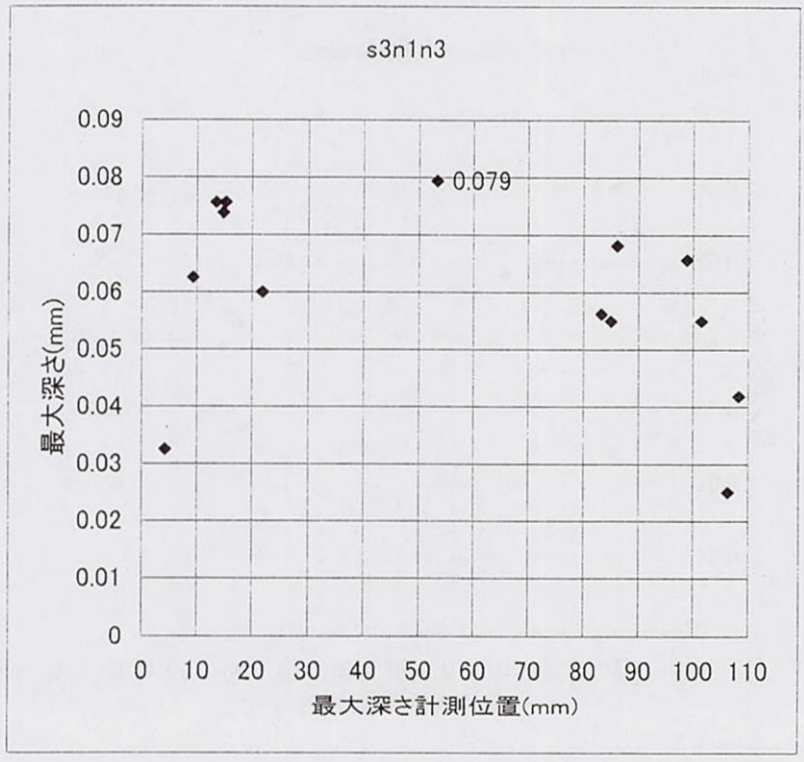


図-6.40 最大深さ位置分布図

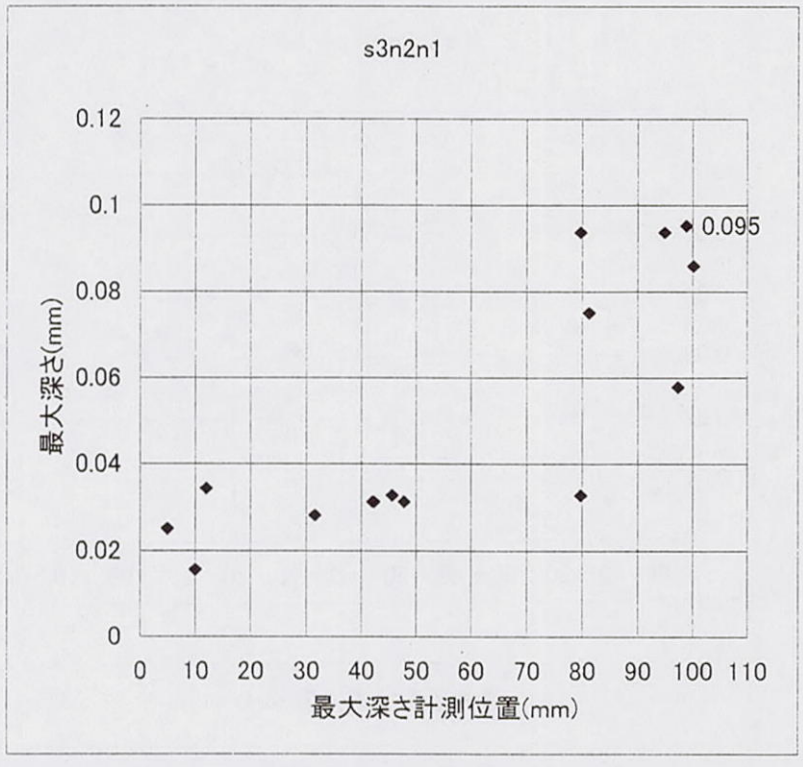


図-6.41 最大深さ位置分布図

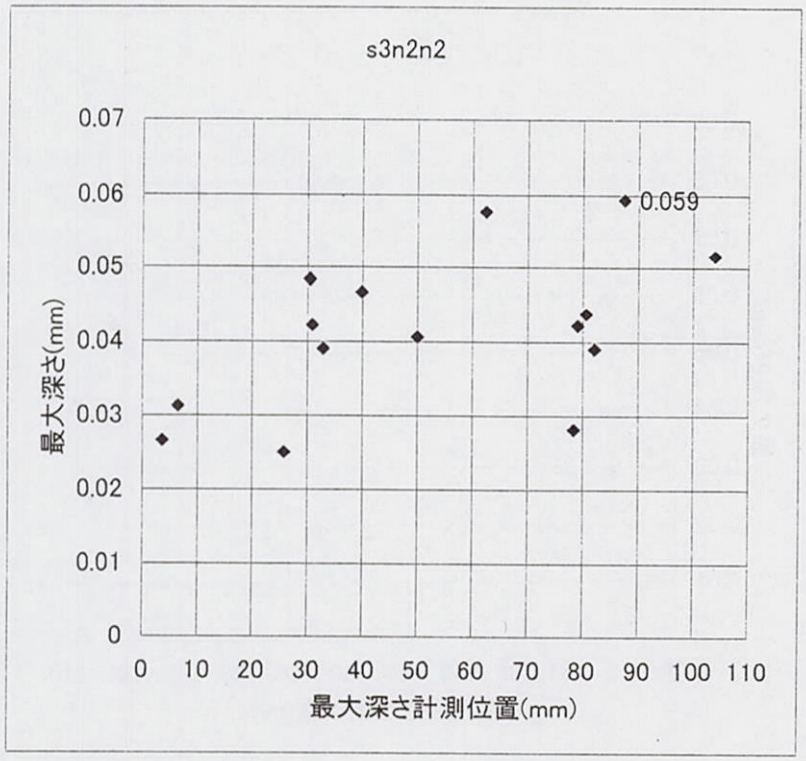


図-6.42 最大深さ位置分布図

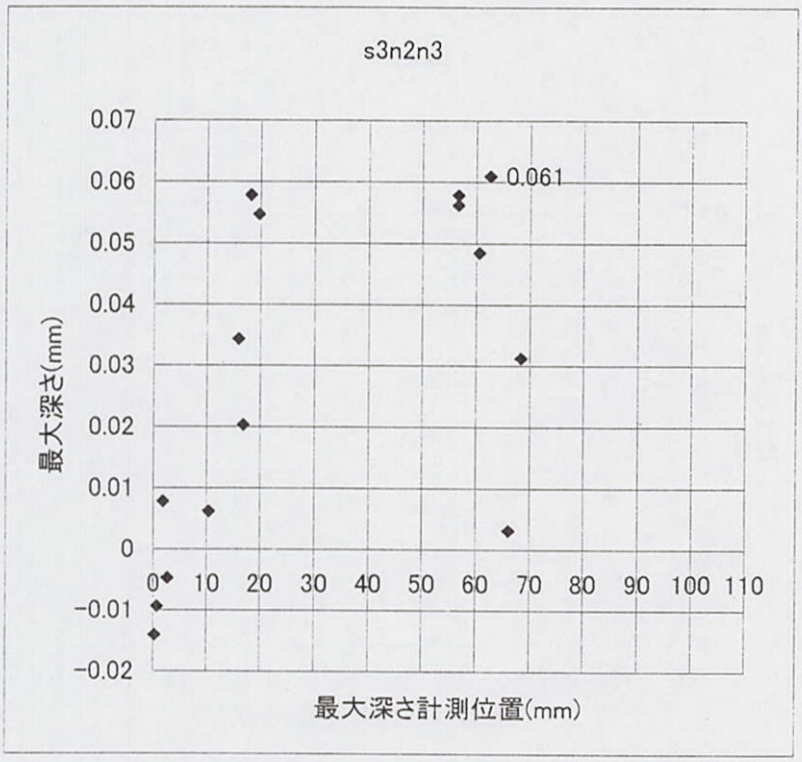


図-6.43 最大深さ位置分布図

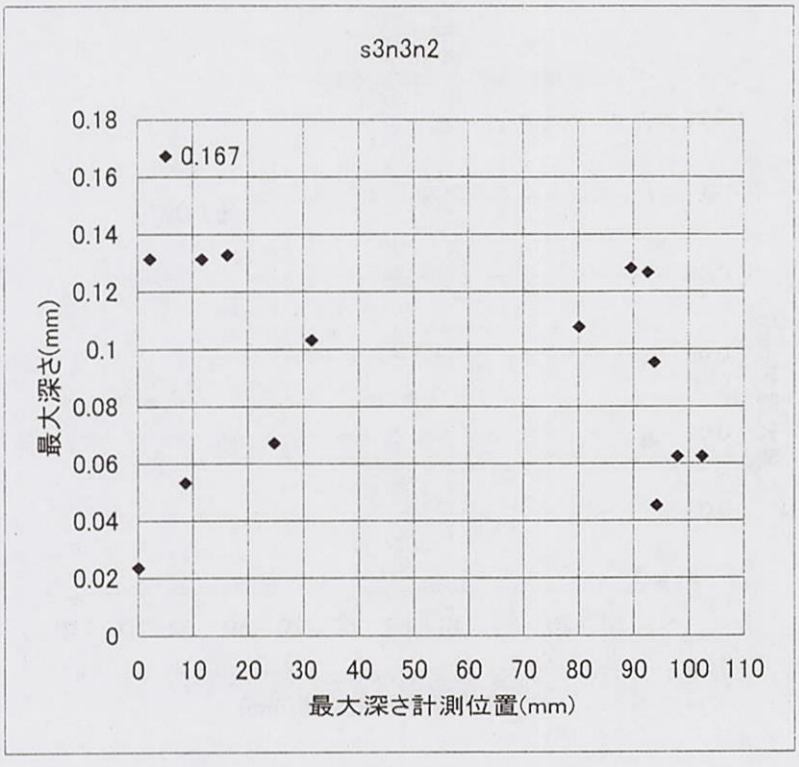


図-6.44 最大深さ位置分布図

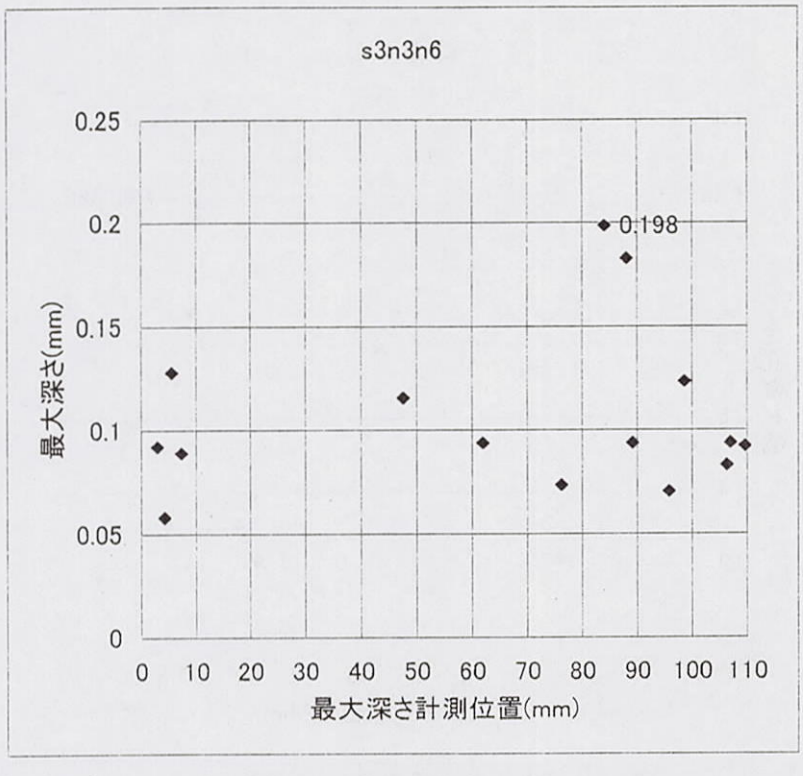


図-6.45 最大深さ位置分布図

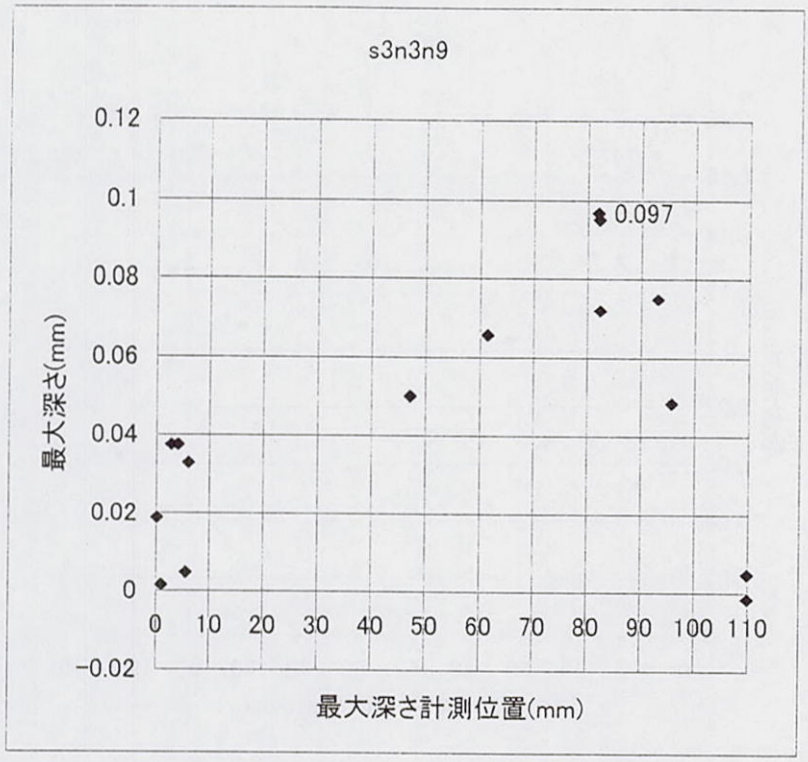


図-6.46 最大深さ位置分布図

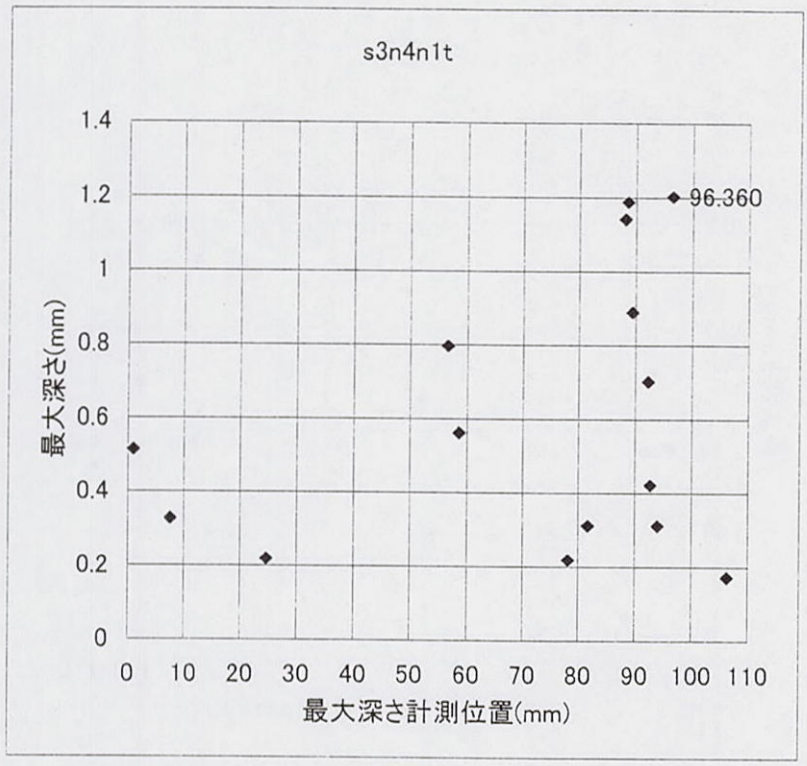


図-6.47 最大深さ位置分布図

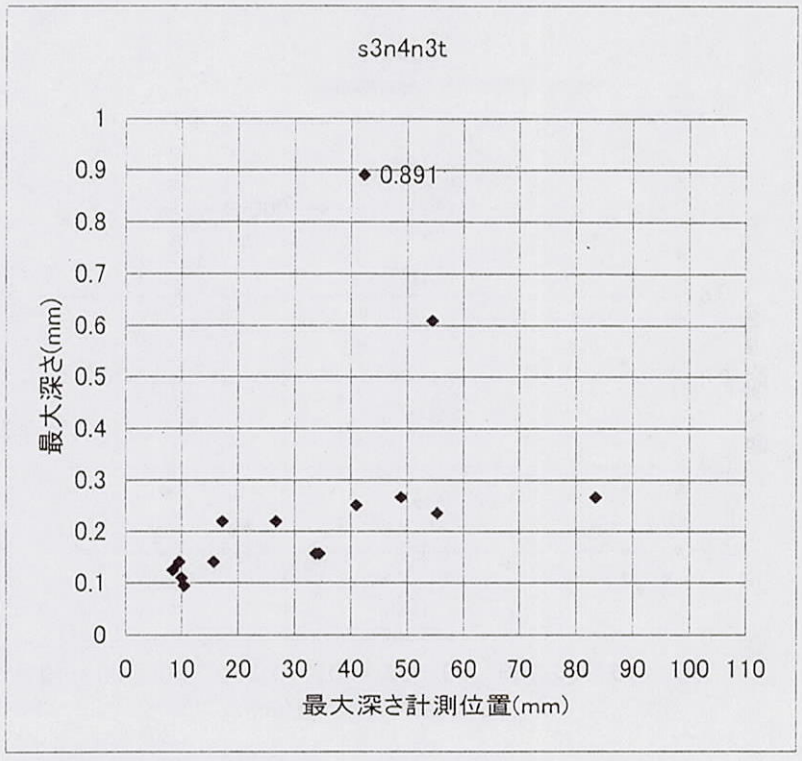
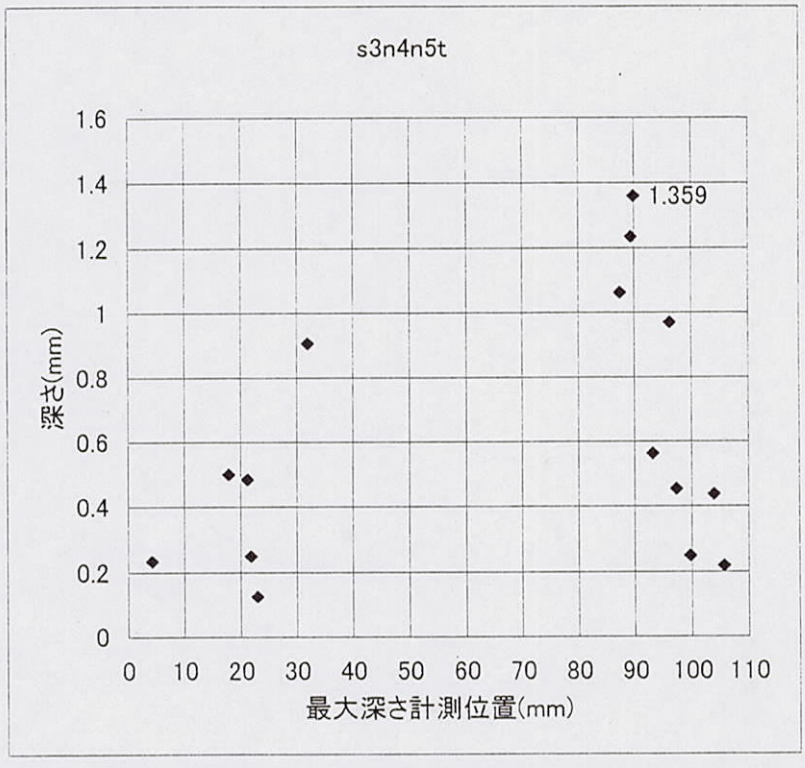


図-6.48 最大深さ位置分布図



図－6.49 最大深さ位置分布図

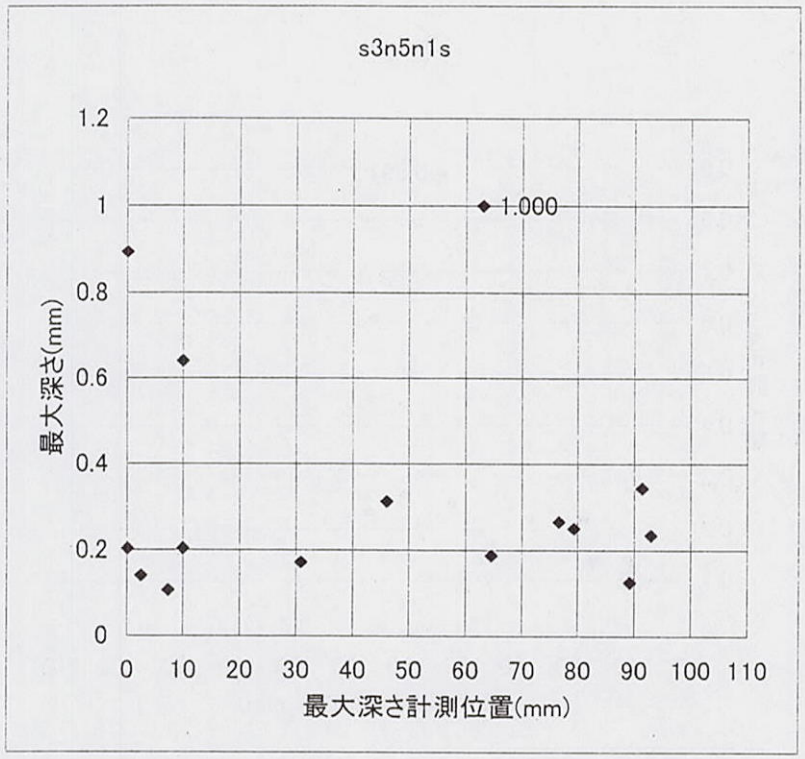


図-6.50 最大深さ位置分布図

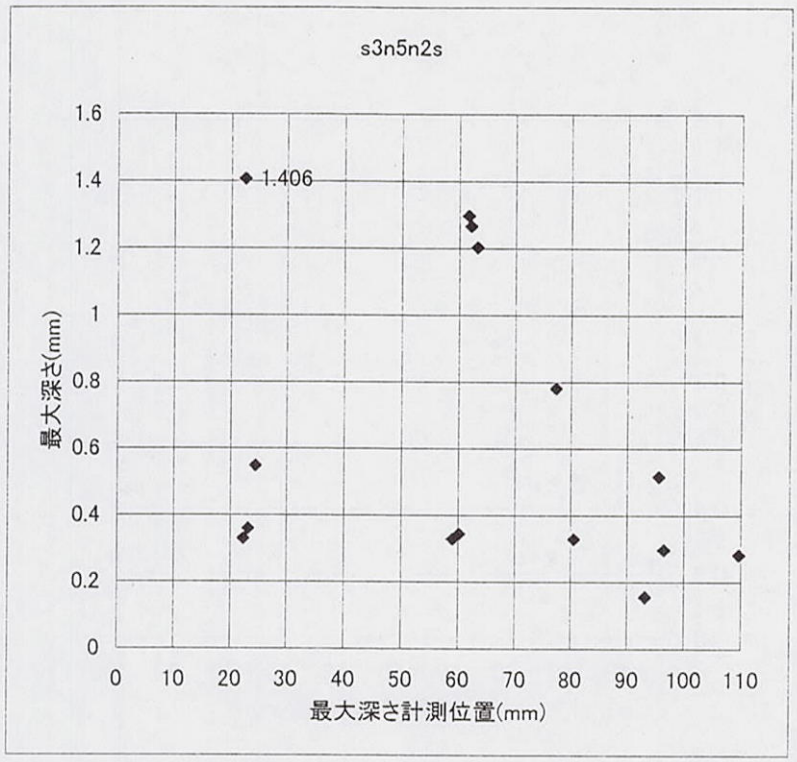


図-6.51 最大深さ位置分布図

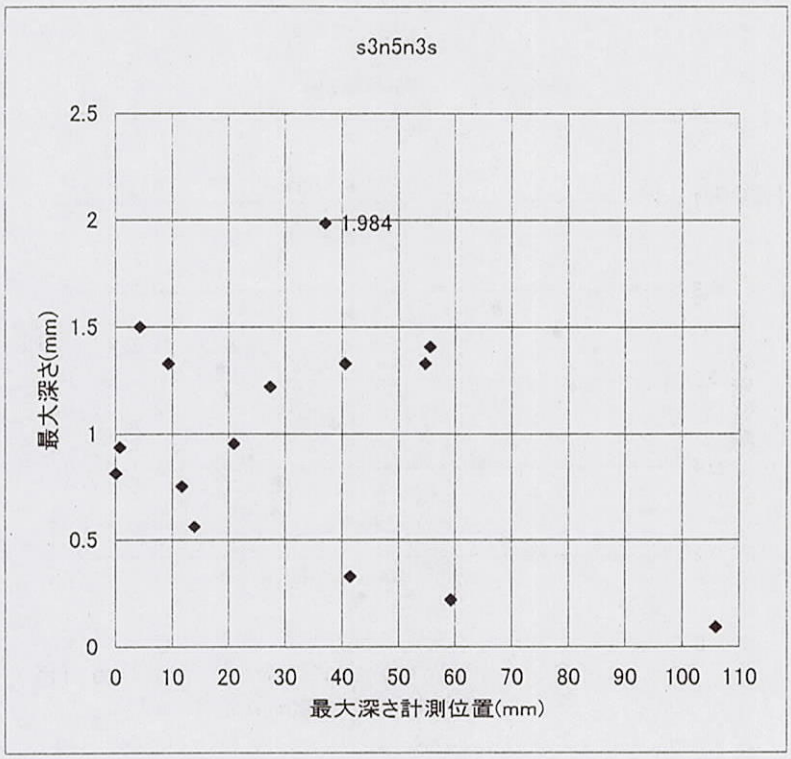


図-6.52 最大深さ位置分布図

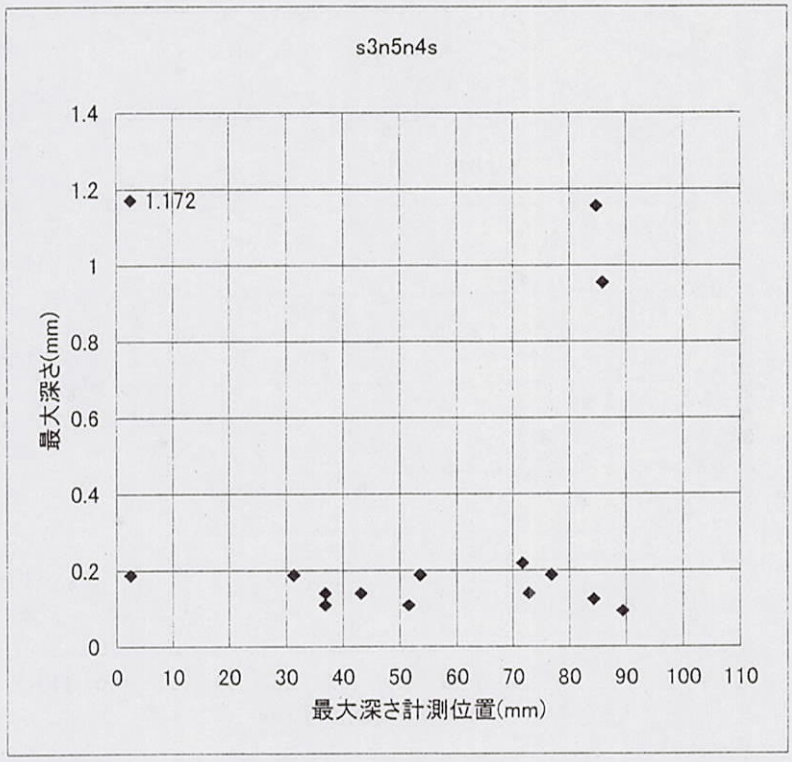


図-6.53 最大深さ位置分布図

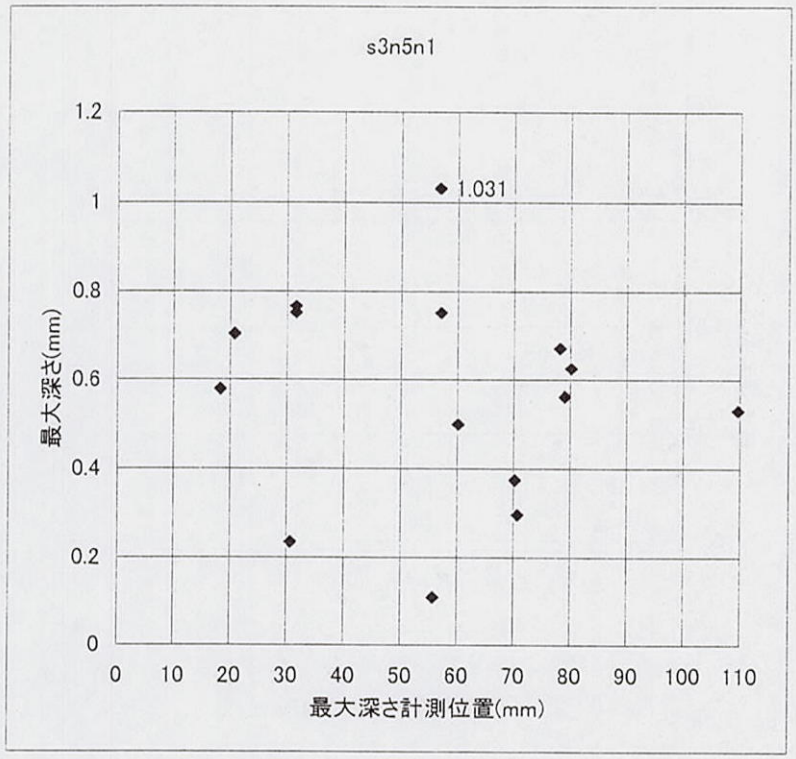


図-6.54 最大深さ位置分布図

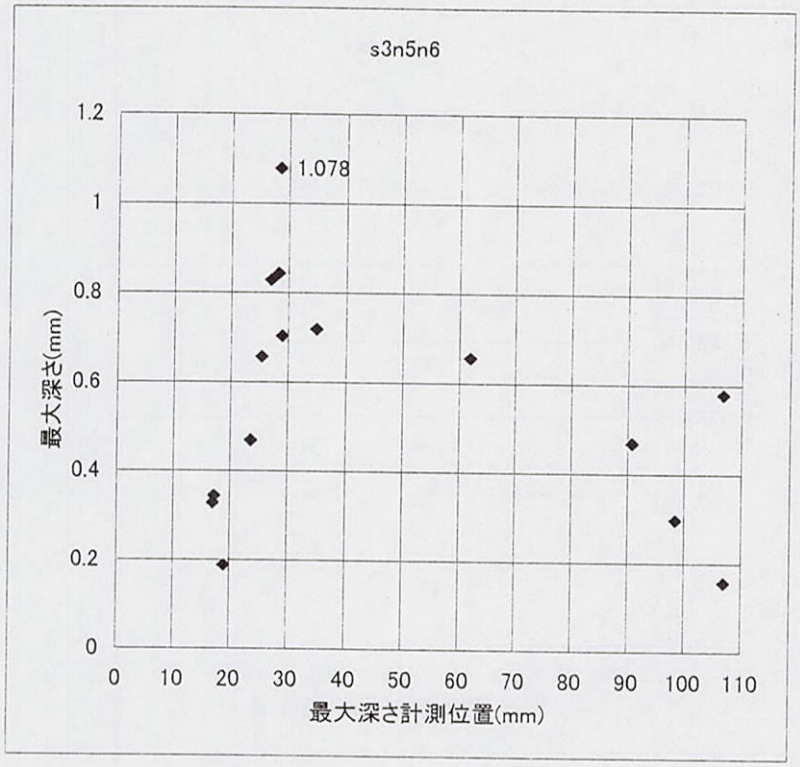


図-6.55 最大深さ位置分布図

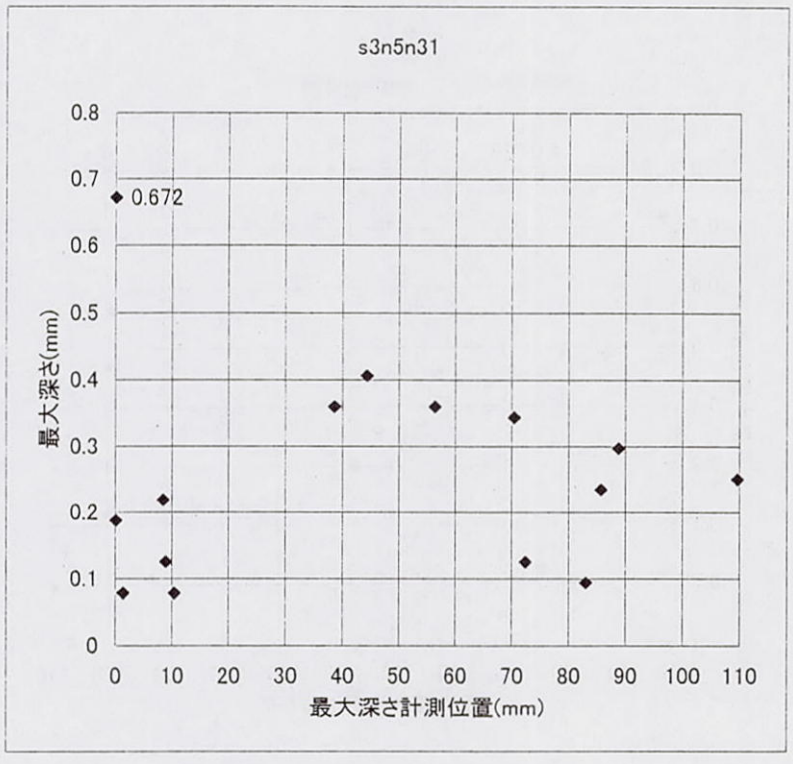


図-6.56 最大深さ位置分布図

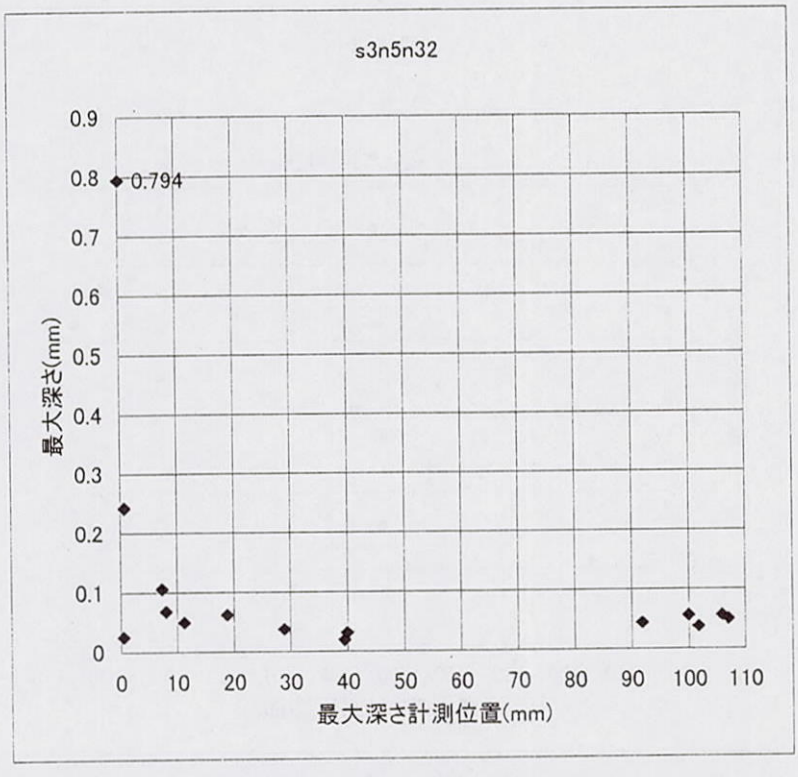


図-6.57 最大深さ位置分布図

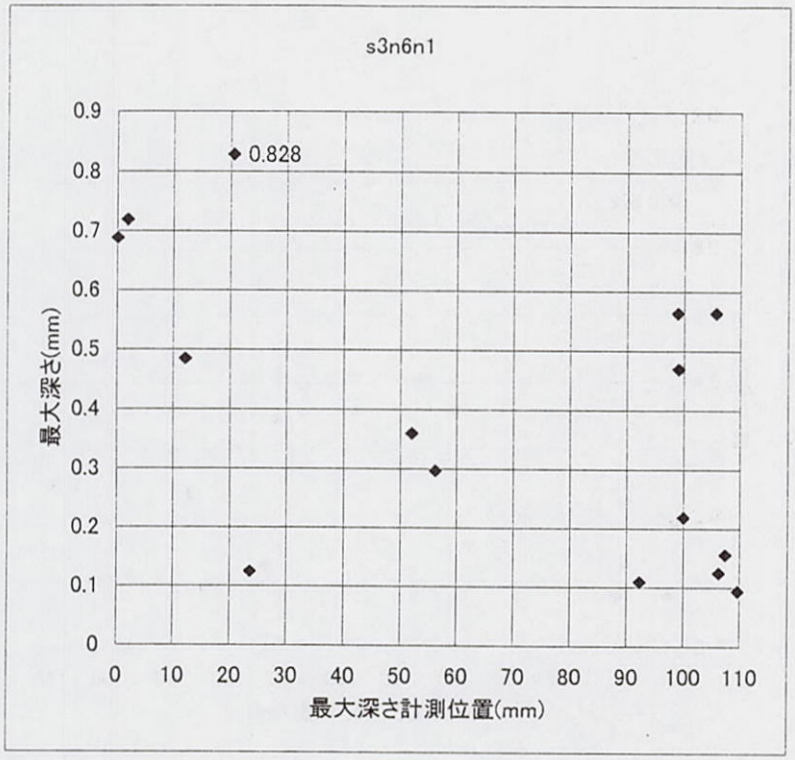


図-6.58 最大深さ位置分布図

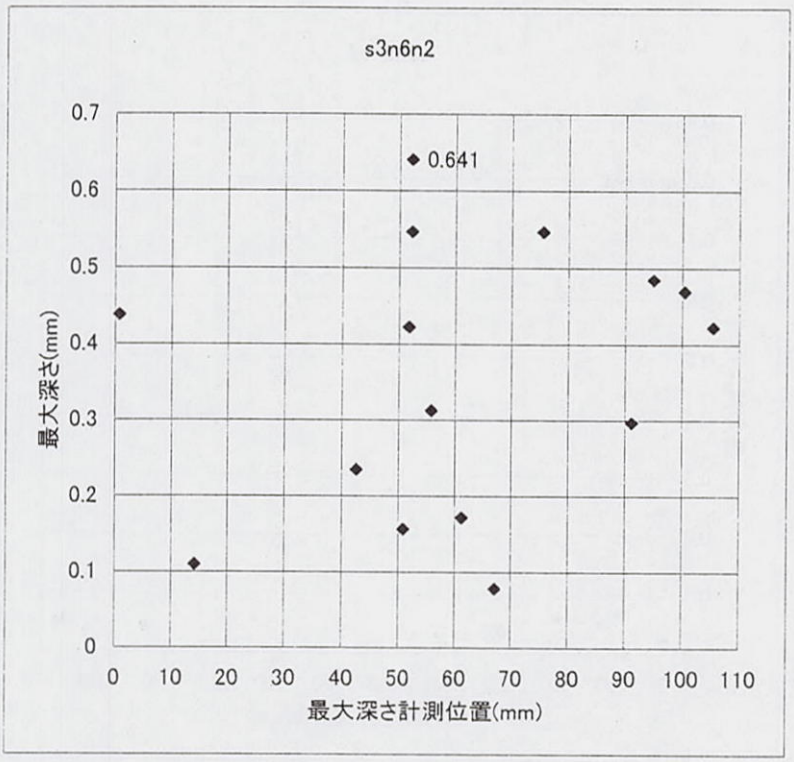


図-6.59 最大深さ位置分布図

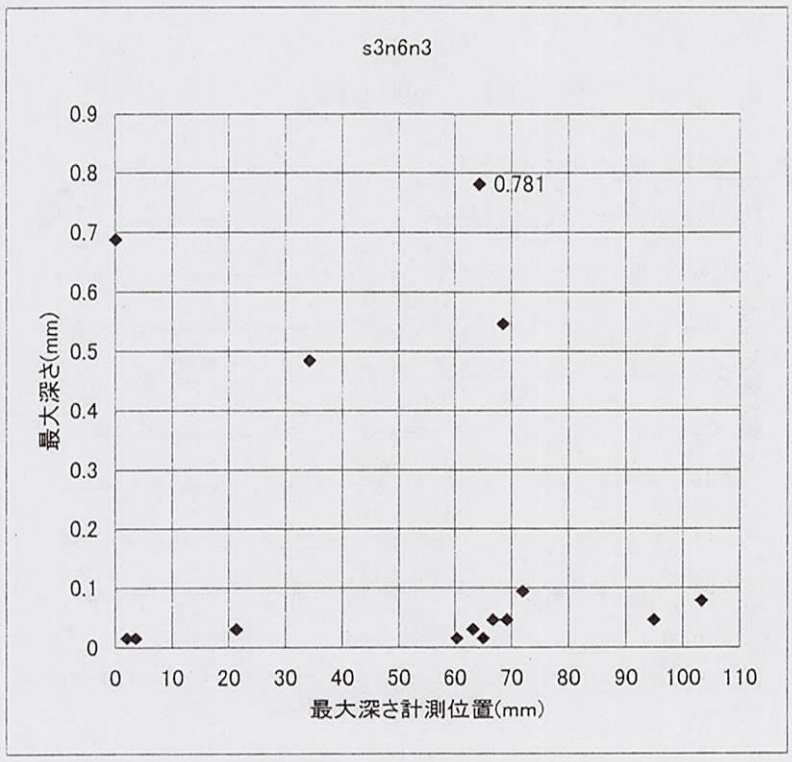


図-6.60 最大深さ位置分布図

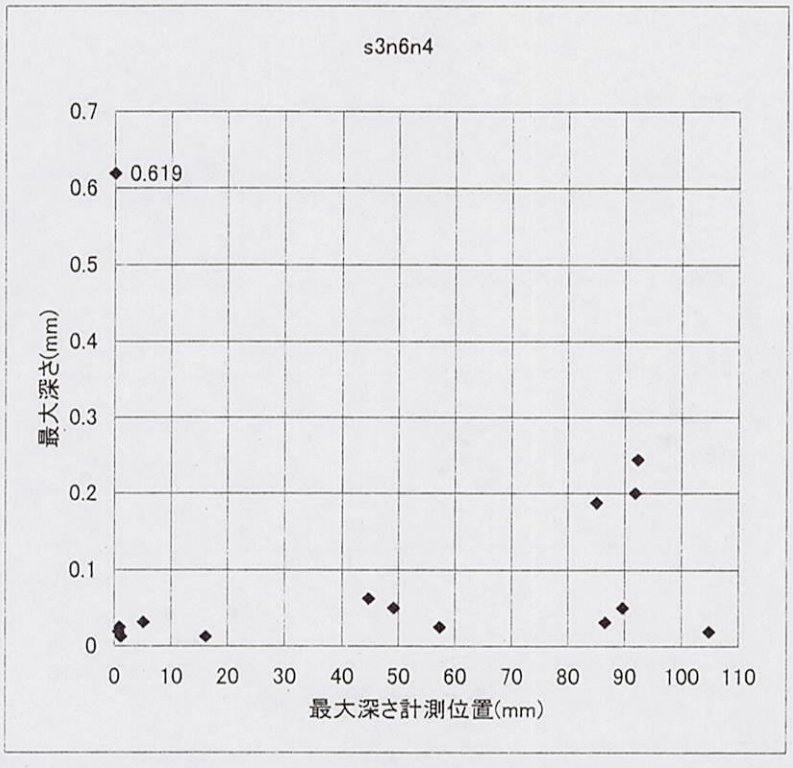


図-6.61 最大深さ位置分布図

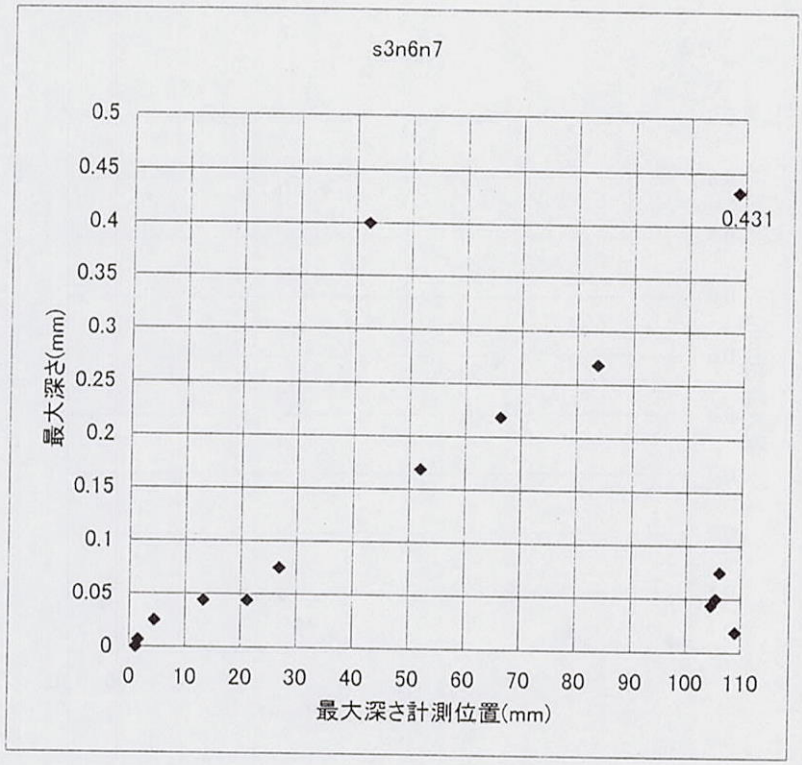


図-6.62 最大深さ位置分布図

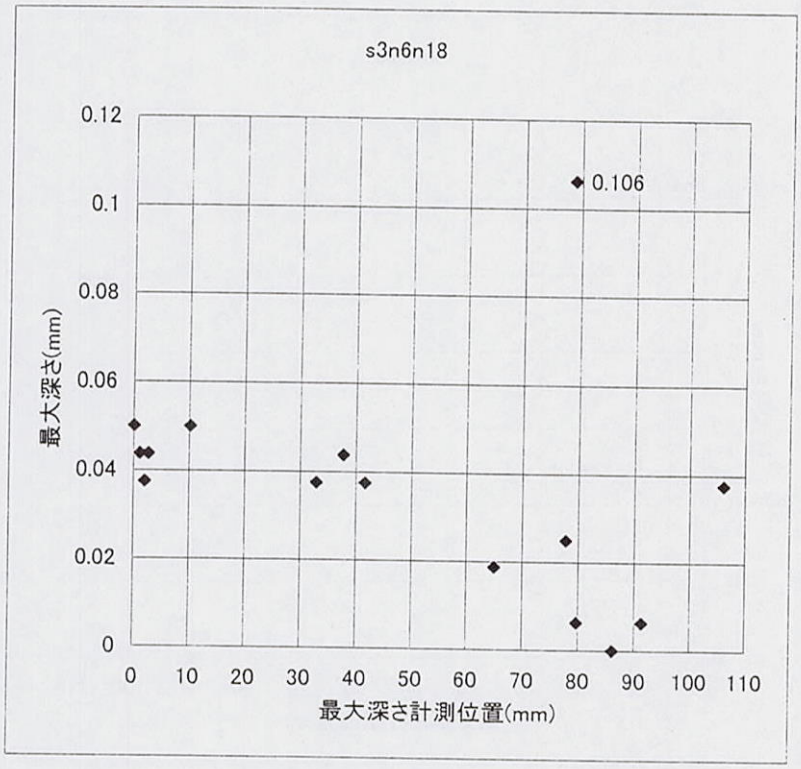


図-6.63 最大深さ位置分布図

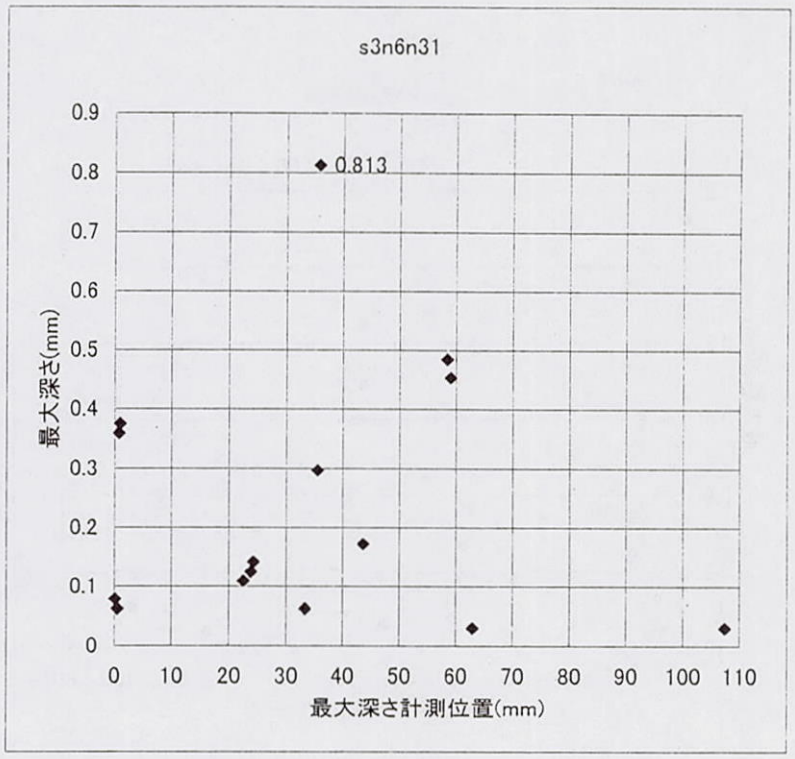


図-6.64 最大深さ位置分布図

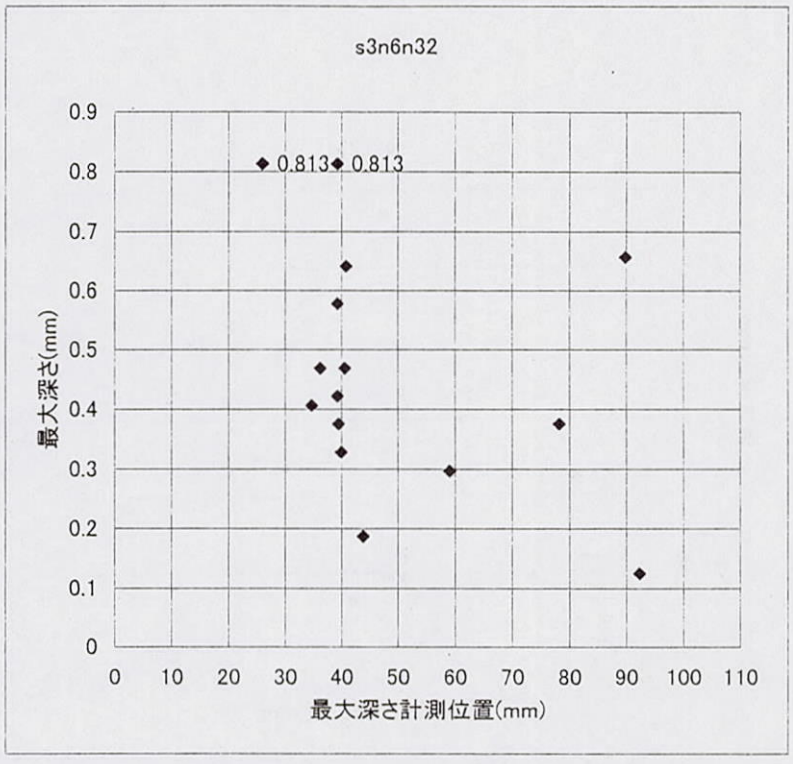


図-6.65 最大深さ位置分布図

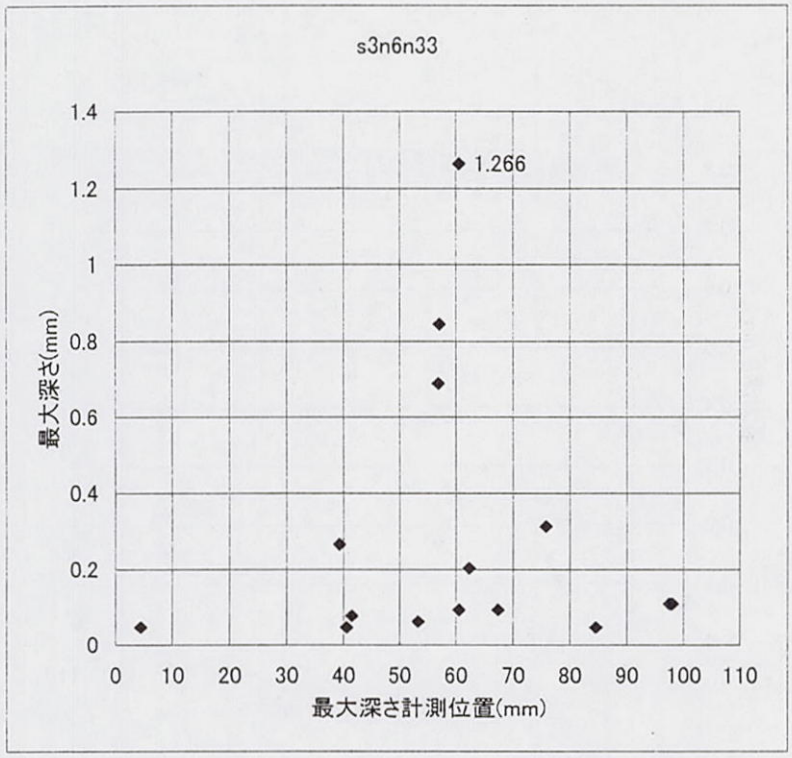


図-6.66 最大深さ位置分布図

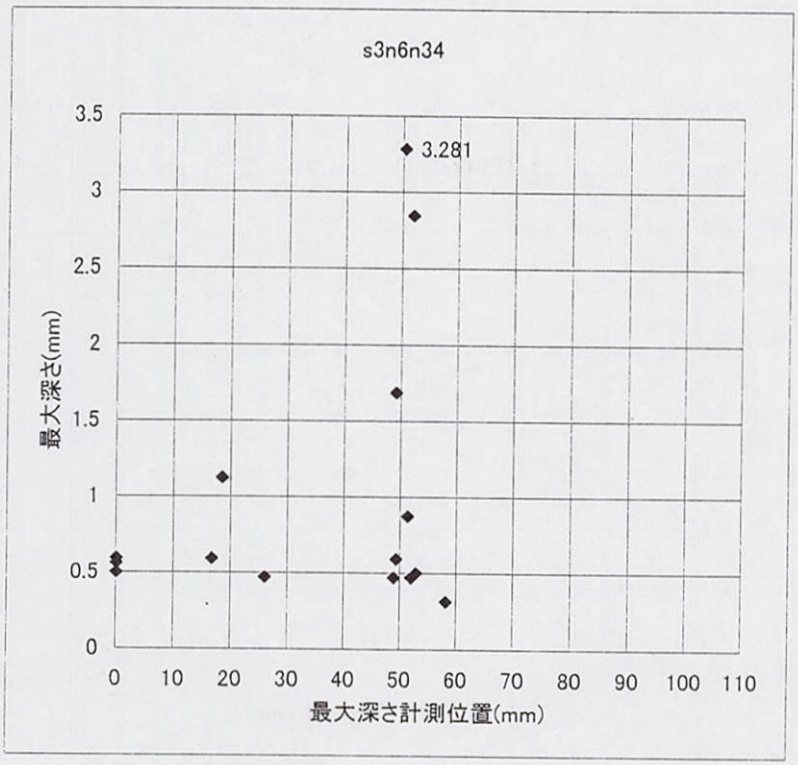


図-6.67 最大深さ位置分布図

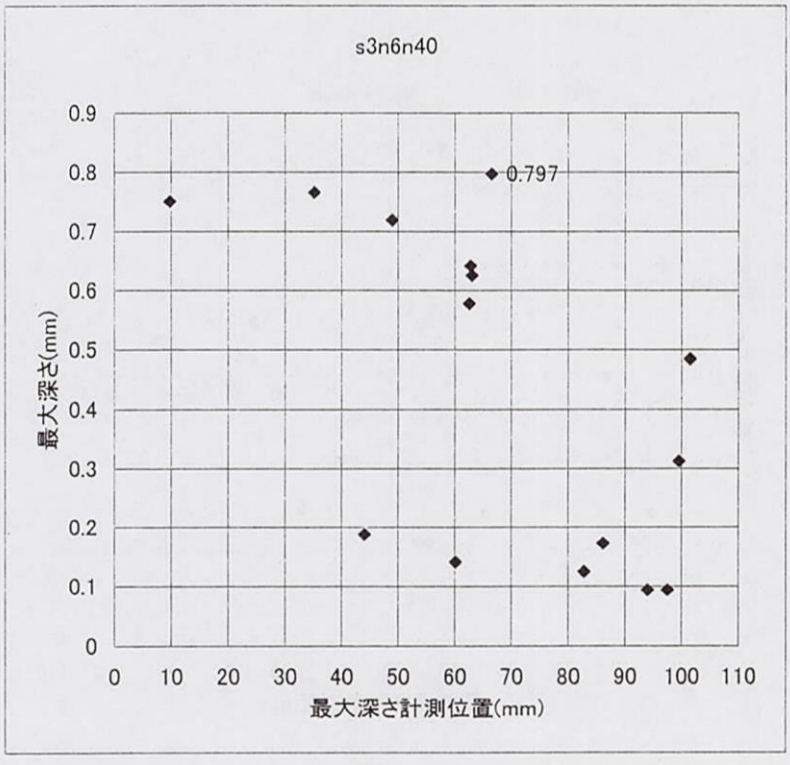


図-6.68 最大深さ位置分布図

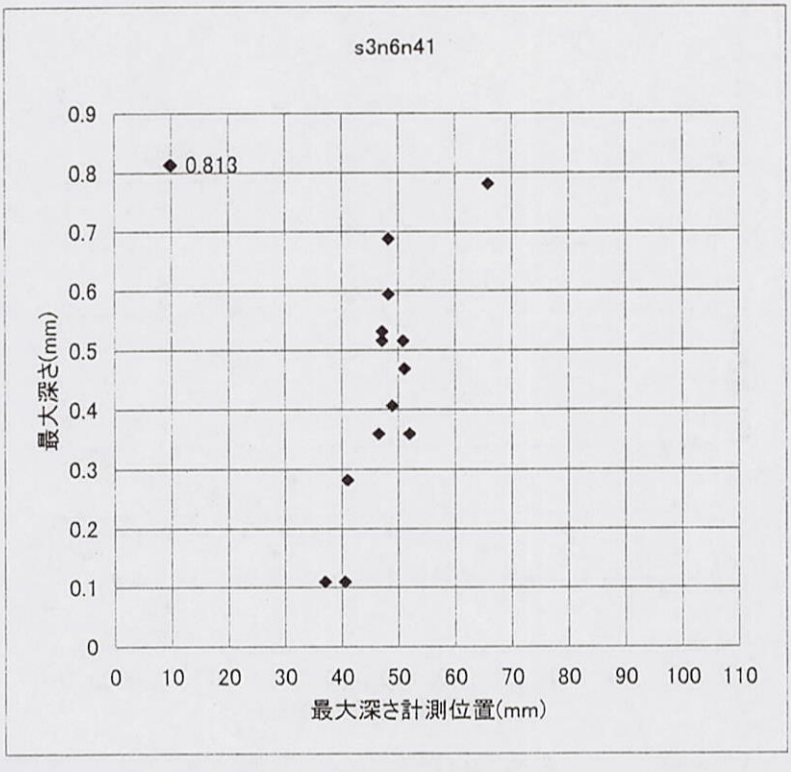


図-6.69 最大深さ位置分布図

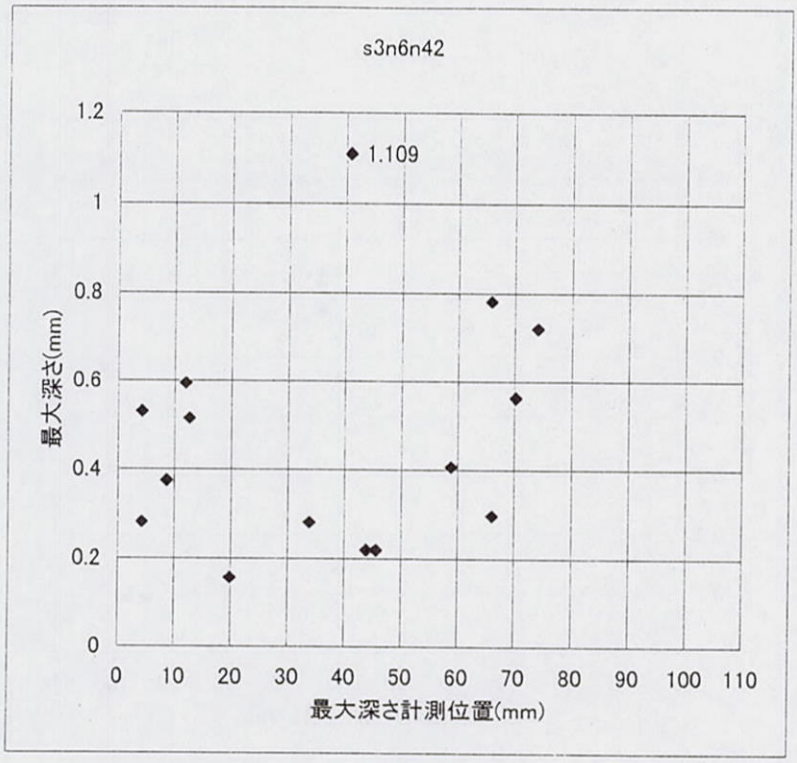


図-6.70 最大深さ位置分布図

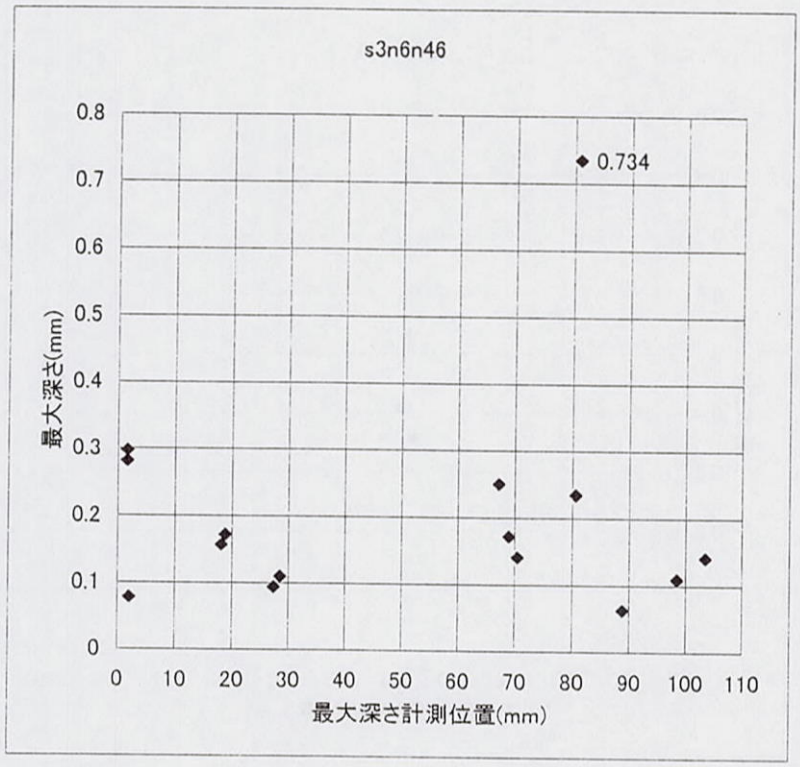
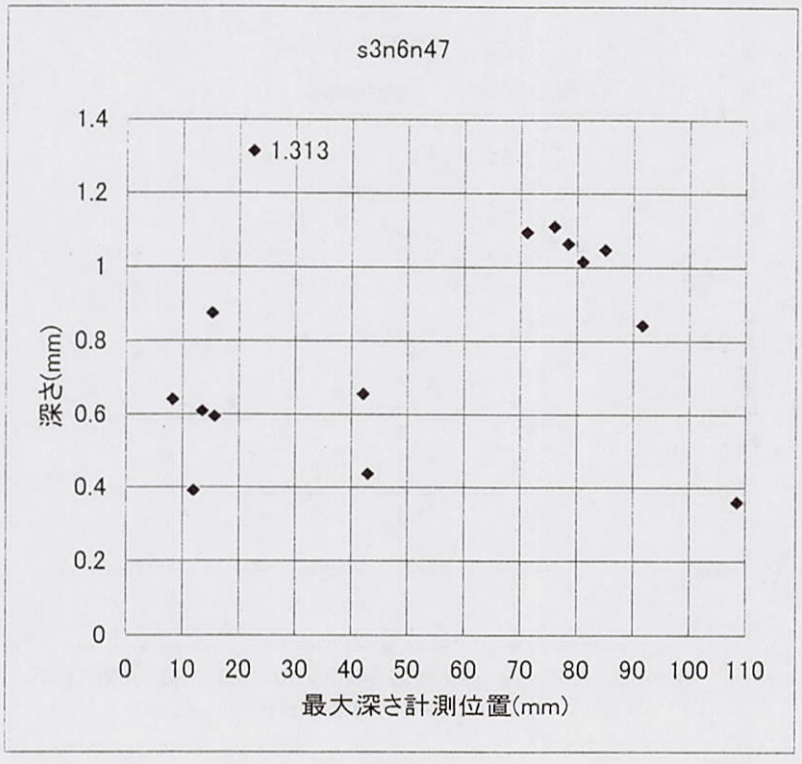


図-6.71 最大深さ位置分布図



図－6.72 最大深さ位置分布図

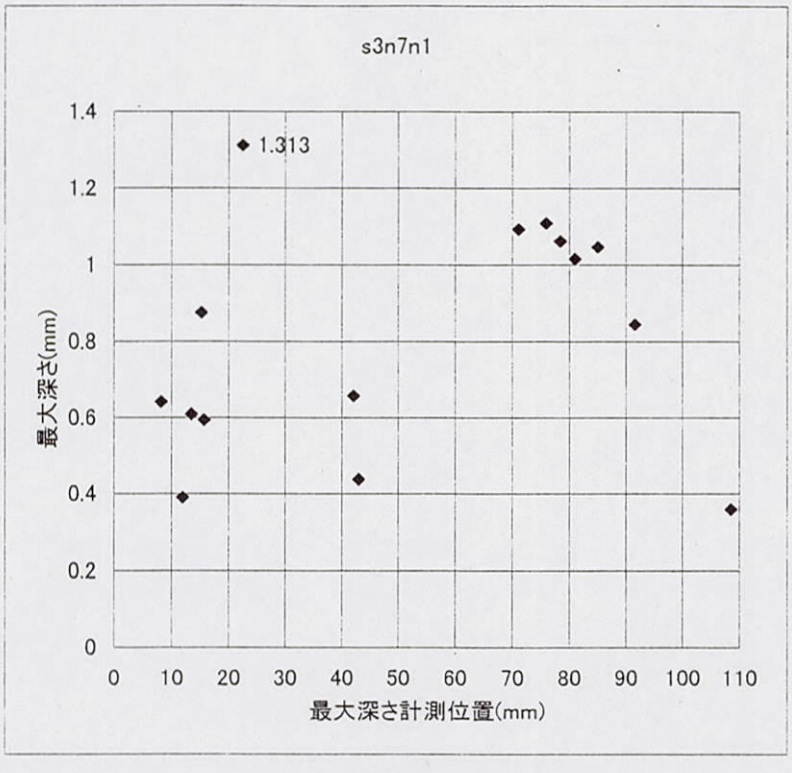


図-6.73 最大深さ位置分布図

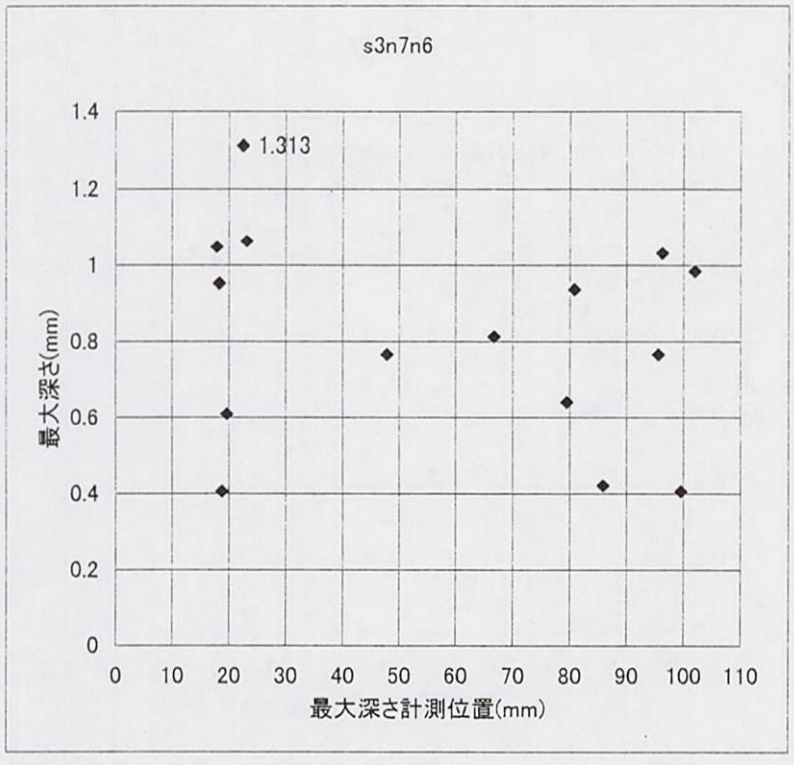
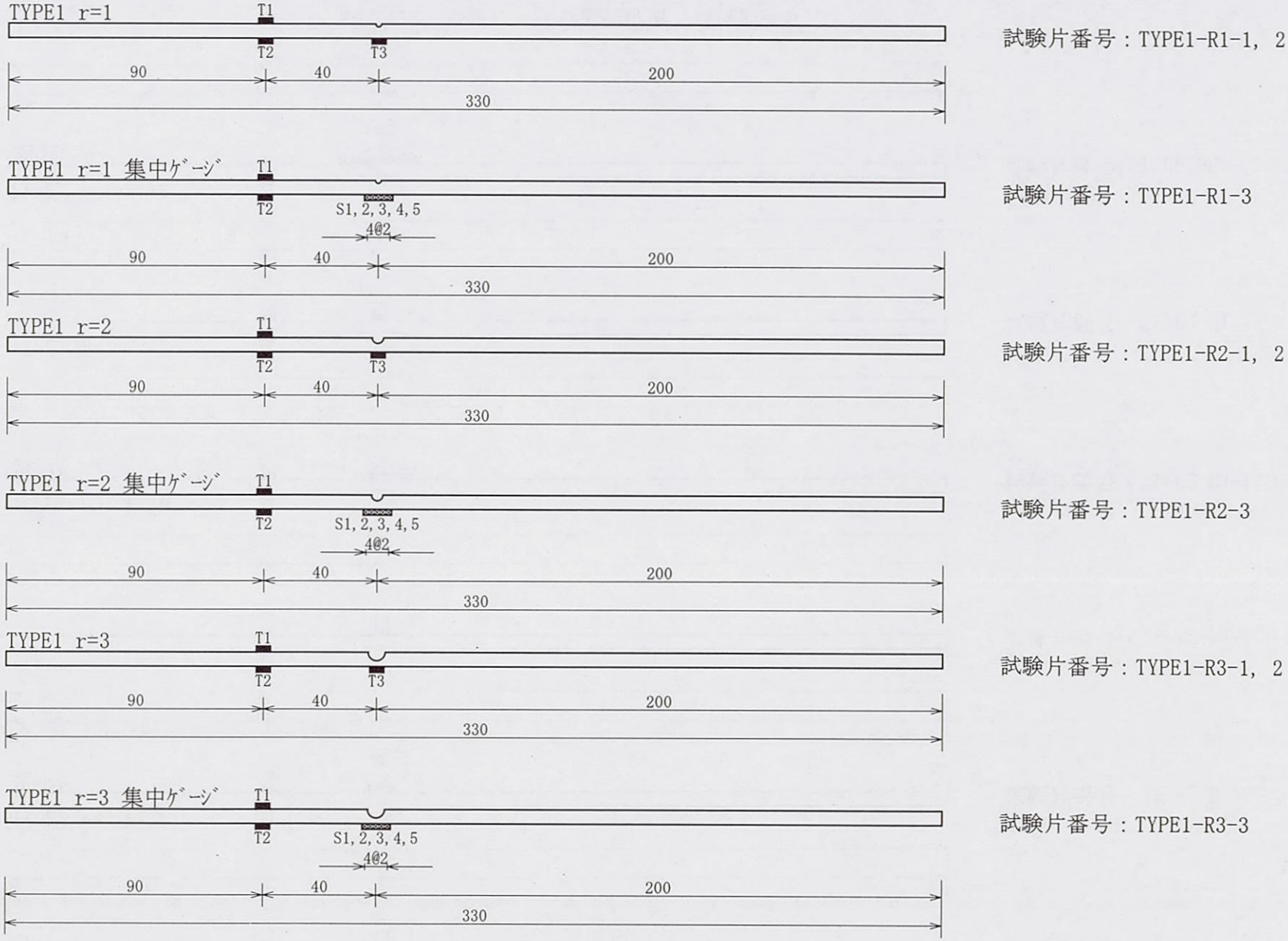


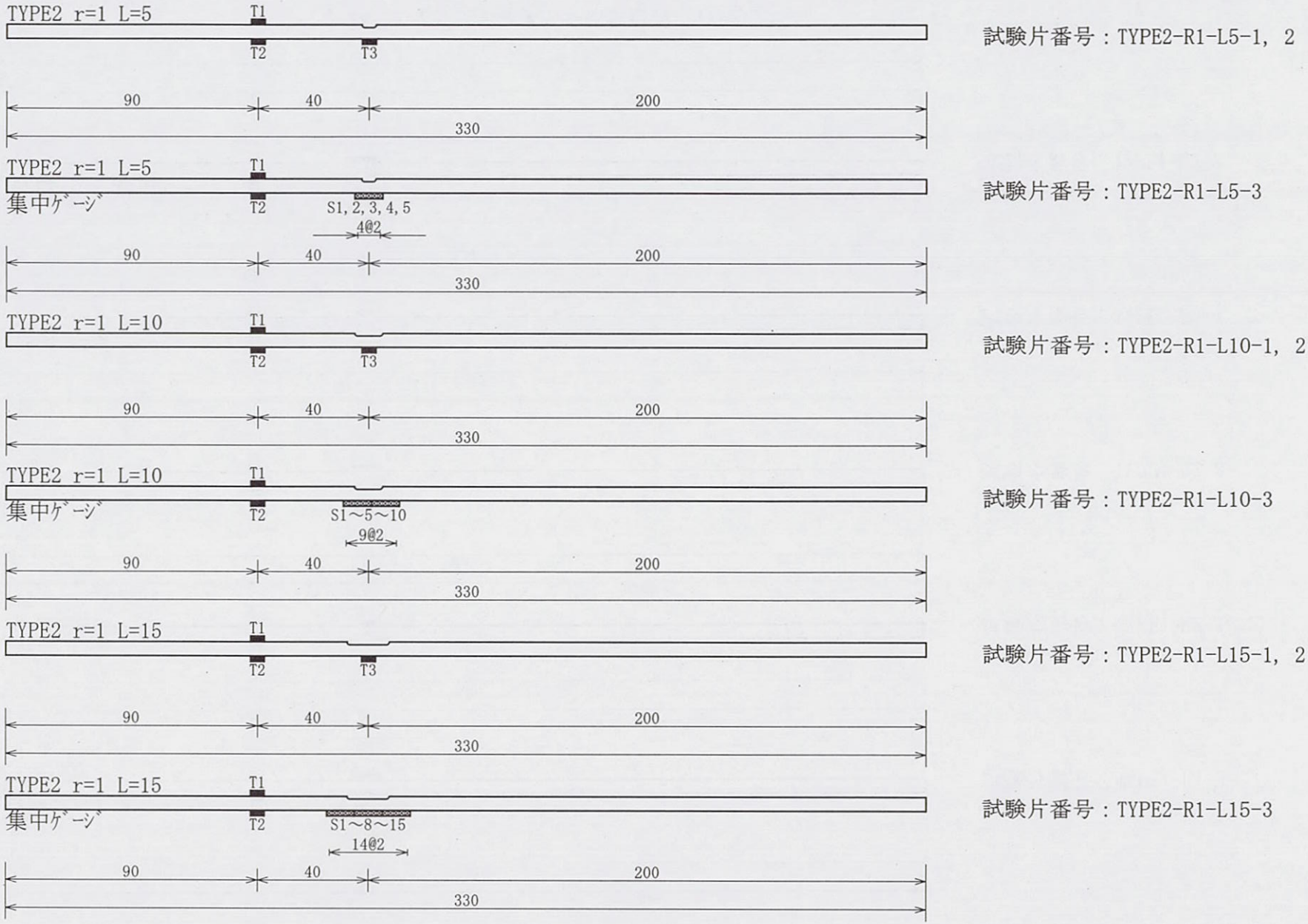
図-6.74 最大深さ位置分布図

参考資料７

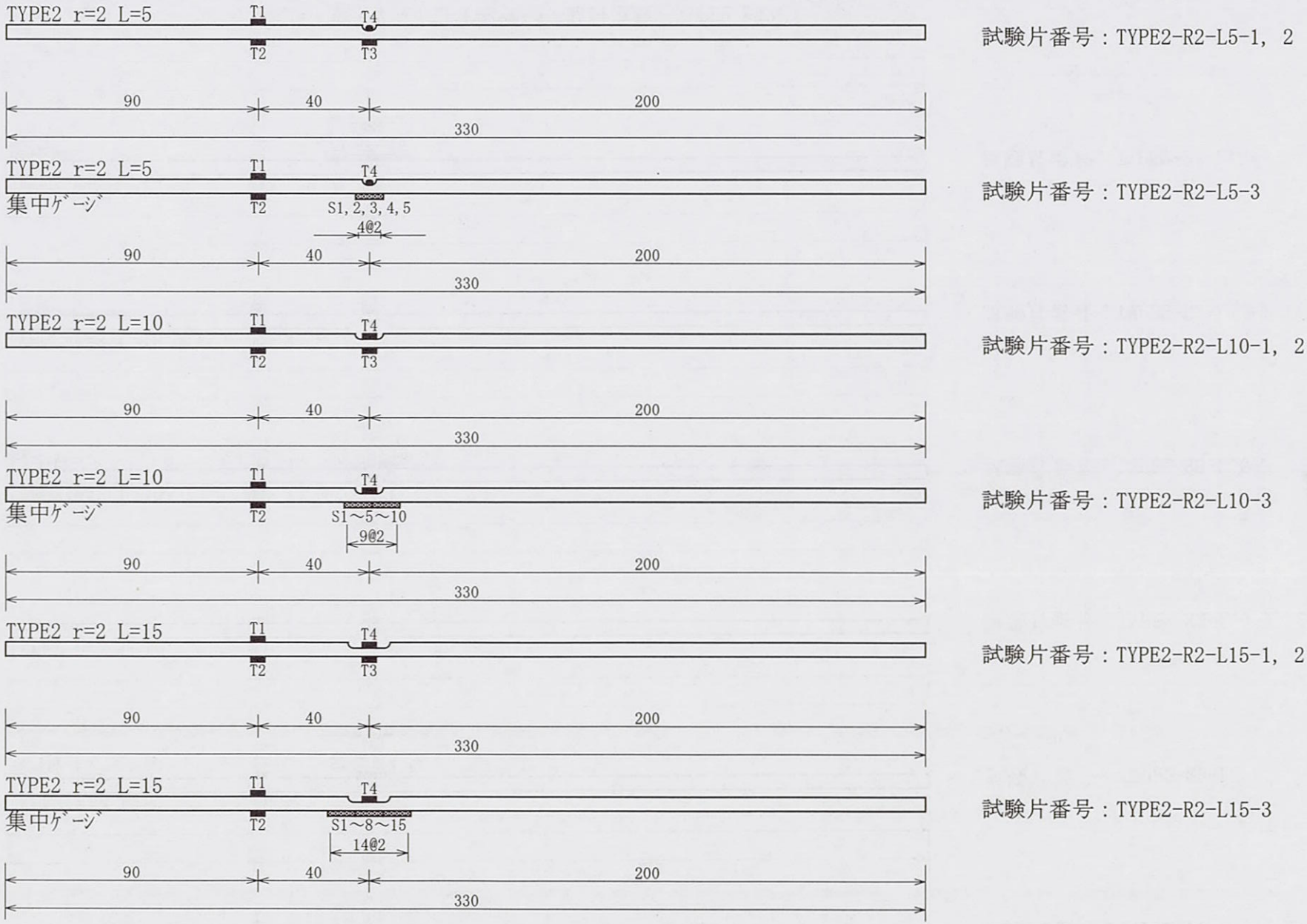
ひずみゲージ貼付け図



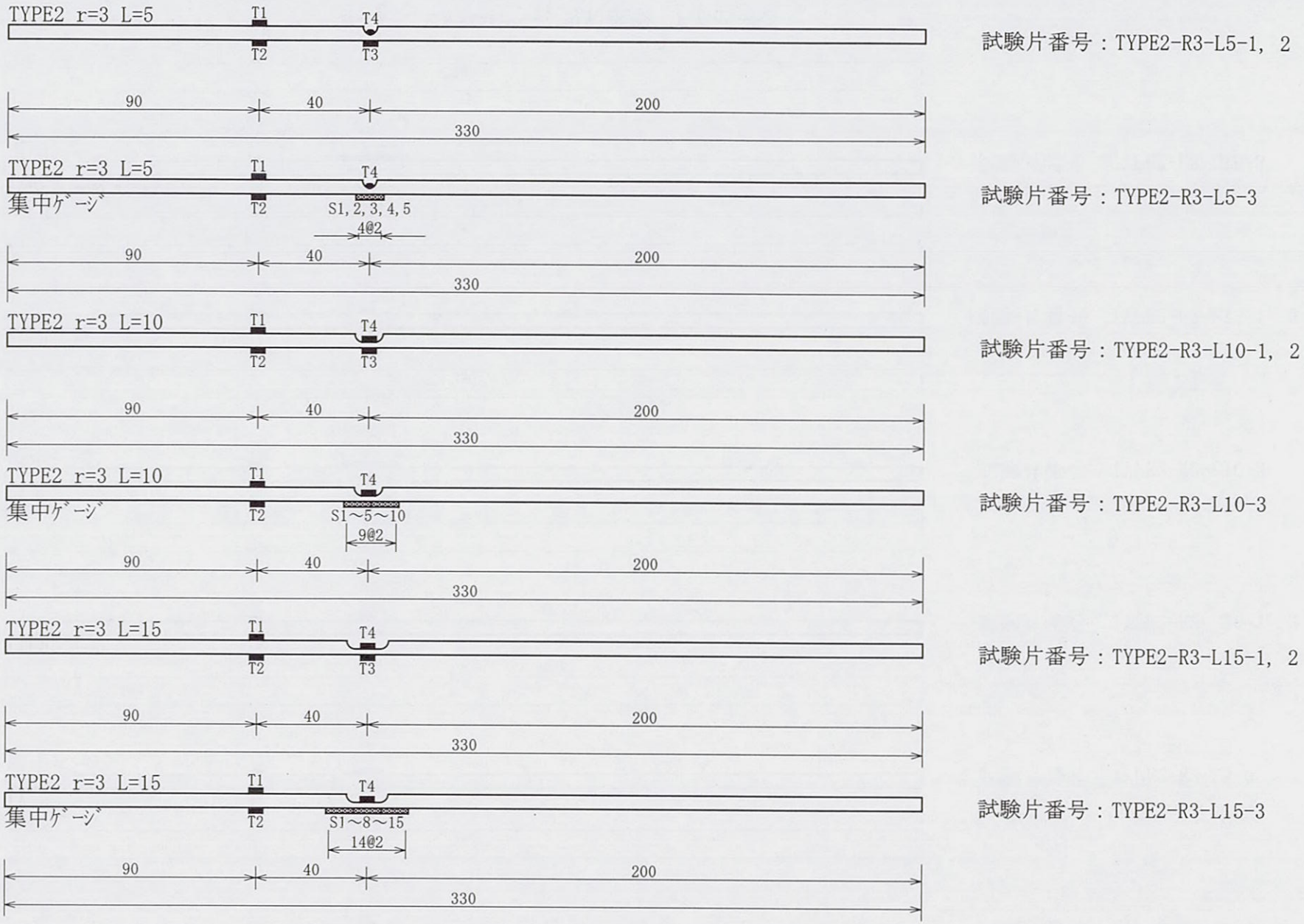
図－7.1　ひずみゲージ貼付位置　TYPE1



図－7.2　ひずみゲージ貼付位置　TYPE2 r=1



図－7.3　ひずみゲージ貼付位置　TYPE2 r=2



図－7.4　ひずみゲージ貼付位置　TYPE2 r=3

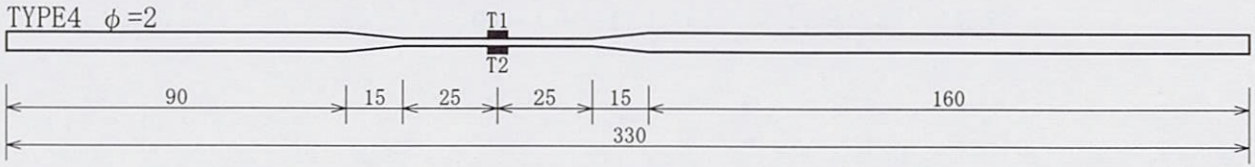


試験片番号：TYPE3-R1-1, 2, 3

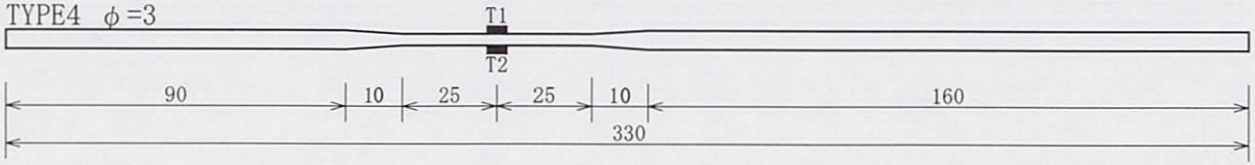
試験片番号：TYPE3-R2-1, 2, 3

試験片番号：TYPE3-R3-1, 2, 3

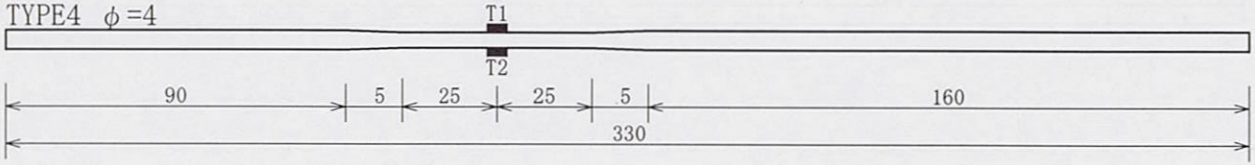
図－7.5　ひずみゲージ貼付位置　TYPE3



試験片番号：TYPE4-φ2-1，2，3



試験片番号：TYPE4-φ3-1，2，3



試験片番号：TYPE4-φ4-1，2，3

図－7.6　ひずみゲージ貼付位置　TYPE4

参考資料８

引張試験結果（シリーズ２）

表-8.1 欠損PC鋼材引張試験結果(Type1)

試験片番号	0.2%永久伸びに対する荷重	0.2%永久伸びに対する応力	0.2%永久伸びに対するひずみ	最大荷重	引張強度	弾性係数	標点距離 (mm)		突合せ伸び	均一伸び	破断伸び	実測断面積	破断状況
	(kN)	(N/mm^2)	($*10^{-6}$)	(kN)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)	試験前	試験後	(%)	(%)	(%)	(mm^2)	
TYPE1-R1-1	31.4	1719	10046	34.0	1860	218.9	100.15	102.40	2.25	3.00	3.30	18.26	延性・脆性
TYPE1-R1-2	31.7	1736	9904	33.9	1857	219.4	99.60	102.15	2.56	2.89	3.26	18.26	延性・脆性
TYPE1-R1-3	31.2	1709	9783	34.1	1869	218.5	99.90	102.65	2.75	3.07	3.41	18.26	延性・脆性
平均値	-	1721	9911	-	1862	218.9	-	-	2.52	2.99	3.32	-	-
TYPE1-R2-1	27.0	1855	9110	27.2	1867	254.2	99.95	100.45	0.50	0.99	2.34	14.55	脆性破壊
TYPE1-R2-2	26.8	1857	8936	27.2	1883	264.4	99.70	100.45	0.75	0.96	0.99	14.44	脆性破壊
TYPE1-R2-3	27.2	1887	9395	27.2	1887	259.7	100.10	100.75	0.65	0.94	1.04	14.44	脆性破壊
平均値	-	1866	9147	-	1879	259.4	-	-	0.63	0.96	1.46	-	-
TYPE1-R3-1	17.2	1829	5968	17.5	1866	452.8	100.15	100.80	0.65	0.68	0.68	9.395	脆性破壊
TYPE1-R3-2	17.4	1853	7151	17.4	1855	365.5	100.15	100.75	0.60	0.72	0.72	9.395	脆性破壊
TYPE1-R3-3	16.6	1771	7258	17.4	1852	336.0	100.15	100.70	0.55	0.82	0.84	9.395	脆性破壊
平均値	-	1818	6792	-	1857	384.8	-	-	0.60	0.74	0.74	-	-

表-8.2 欠損PC鋼材引張試験結果(Type2 R=1)

試験片番号	0.2%永久伸びに対する荷重	0.2%永久伸びに対する応力	0.2%永久伸びに対するひずみ	最大荷重	引張強度	弾性係数	標点距離(mm)		突合せ伸び	均一伸び	破断伸び	実測断面積	破断状況
	(kN)	(N/mm^2)	($*10^{-6}$)	(kN)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)	試験前	試験後	(%)	(%)	(%)	(mm^2)	
TYPE2-R1-L5-1	31.3	1716	9683	33.3	1825	222.4	99.30	102.45	3.17	2.29	3.43	18.26	延性破壊
TYPE2-R1-L5-2	32.1	1766	9886	33.4	1837	218.6	99.80	103.10	3.31	2.47	3.60	18.20	延性破壊
TYPE2-R1-L5-3	31.0	1695	9906	33.2	1818	216.9	100.15	103.30	3.15	2.58	3.60	18.26	延性破壊
平均値	-	1726	9825	-	1827	219.3	-	-	3.21	2.45	3.55	-	-
TYPE2-R1-L10-1	30.6	1677	9331	33.1	1815	222.3	100.10	103.55	3.45	2.49	3.87	18.26	延性破壊
TYPE2-R1-L10-2	31.2	1717	10532	33.3	1830	213.2	100.00	103.20	3.20	2.61	3.95	18.20	延性破壊
TYPE2-R1-L10-3	30.2	1651	9591	33.0	1800	216.5	100.35	103.55	3.19	2.59	3.94	18.32	延性破壊
平均値	-	1682	9818	-	1815	217.3	-	-	3.28	2.56	3.92	-	-
TYPE2-R1-L15-1	30.7	1689	9484	33.3	1831	227.0	99.80	103.45	3.66	2.69	4.16	18.20	延性破壊
TYPE2-R1-L15-2	30.8	1694	10974	33.2	1824	190.8	100.10	103.75	3.65	2.67	4.04	18.20	延性破壊
TYPE2-R1-L15-3	30.0	1642	9301	33.1	1814	220.9	100.35	103.95	3.59	2.78	3.98	18.26	延性破壊
平均値	-	1675	9920	-	1823	212.9	-	-	3.63	2.71	4.06	-	-

表-8.3 欠損PC鋼材引張試験結果(Type2 R=2)

試験片番号	0.2%永久伸びに対する荷重	0.2%永久伸びに対する応力	0.2%永久伸びに対するひずみ	最大荷重	引張強度	弾性係数	標点距離(mm)		突合せ伸び	均一伸び	破断伸び	実測断面積	破断状況
	(kN)	(N/mm^2)	($*10^{-6}$)	(kN)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)	試験前	試験後	(%)	(%)	(%)	(mm^2)	
TYPE2-R2-L5-1	26.4	1832	8565	26.8	1858	280.1	99.75	101.20	1.45	0.95	1.30	14.44	脆性破壊
TYPE2-R2-L5-2	26.3	1810	9013	27.0	1853	262.5	100.00	101.05	1.05	1.18	1.33	14.55	脆性破壊
TYPE2-R2-L5-3	26.5	1834	8848	26.8	1856	266.6	100.05	100.90	0.85	1.05	2.51	14.44	脆性破壊
平均値	-	1825	8809	-	1855	269.7	-	-	1.12	1.06	1.71	-	-
TYPE2-R2-L10-1	25.7	1778	10528	26.3	1823	204.2	100.30	102.65	2.34	1.32	2.45	14.44	延性破壊
TYPE2-R2-L10-2	25.3	1752	8880	26.4	1830	253.9	99.90	102.15	2.25	1.16	2.40	14.44	延性破壊
TYPE2-R2-L10-3	24.4	1676	8154	26.5	1822	271.5	100.00	102.45	2.45	1.23	2.37	14.55	延性破壊
平均値	-	1735	9187	-	1825	243.2	-	-	2.35	1.24	2.41	-	-
TYPE2-R2-L15-1	24.5	1685	8342	26.2	1802	272.6	100.00	102.55	2.55	1.38	2.73	14.55	延性破壊
TYPE2-R2-L15-2	25.1	1886	8631	26.5	1990	293.6	99.75	102.40	2.66	1.41	2.70	13.32	延性破壊
TYPE2-R2-L15-3	25.0	1732	8851	26.3	1825	256.7	99.90	102.40	2.50	1.35	2.42	14.44	延性破壊
平均値	-	1768	8608	-	1872	274.3	-	-	2.57	1.38	2.62	-	-

表-8.4 欠損PC鋼材引張試験結果(Type2 R=3)

試験片番号	0.2%永久伸びに対する荷重	0.2%永久伸びに対する応力	0.2%永久伸びに対するひずみ	最大荷重	引張強度	弾性係数	標点距離 (mm)		突合せ伸び	均一伸び	破断伸び	実測断面積	破断状況
	(kN)	(N/mm^2)	($*10^{-6}$)	(kN)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)	試験前	試験後	(%)	(%)	(%)	(mm^2)	
TYPE2-R3-L5-1	-	-	-	17.2	1863	304.1	100.30	100.70	0.40	0.74	0.74	9.246	脆性破壊
TYPE2-R3-L5-2	-	-	-	17.4	1887	305.6	99.70	100.00	0.30	0.74	0.74	9.246	脆性破壊
TYPE2-R3-L5-3	-	-	-	17.3	1836	362.4	100.00	100.70	0.70	0.63	0.63	9.395	脆性破壊
平均値	-	-	-	-	1862	324.0	-	-	0.47	0.70	0.70	-	-
TYPE2-R3-L10-1	16.7	1805	8661	16.8	1814	271.5	100.05	101.30	1.25	0.91	1.78	9.246	延性破壊
TYPE2-R3-L10-2	16.7	1806	7512	16.8	1822	329.8	100.05	101.50	1.45	0.79	1.65	9.246	延性破壊
TYPE2-R3-L10-3	16.6	1763	8074	16.6	1763	293.8	100.05	101.80	1.75	0.84	1.62	9.395	延性破壊
平均値	-	1791	8082	-	1800	298.4	-	-	1.48	0.85	1.68	-	-
TYPE2-R3-L15-1	16.0	1703	7573	16.9	1801	306.9	99.85	101.75	1.90	1.13	2.17	9.395	延性破壊
TYPE2-R3-L15-2	16.0	1732	8624	16.8	1816	265.8	99.95	101.90	1.95	1.23	2.23	9.246	延性破壊
TYPE2-R3-L15-3	16.5	1726	8145	16.8	1759	286.9	100.10	102.00	1.90	1.05	2.02	9.545	延性破壊
平均値	-	1720	8114	-	1792	286.5	-	-	1.92	1.14	2.14	-	-

表-8.5 欠損PC鋼材引張試験結果(Type3)

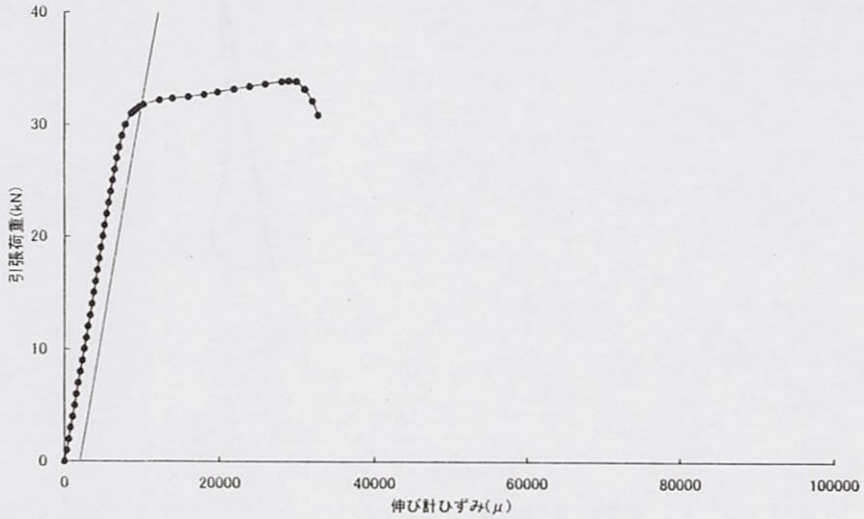
試験片番号	0.2%永久伸びに対する荷重	0.2%永久伸びに対する応力	0.2%永久伸びに対するひずみ	最大荷重	引張強度	弾性係数	標点距離 (mm)		突合せ伸び	均一伸び	破断伸び	実測断面積	破断状況
	(kN)	(N/mm^2)	($*10^{-6}$)	(kN)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)	試験前	試験後	(%)	(%)	(%)	(mm^2)	
TYPE3-R1-1	29.9	1643	9936	32.9	1809	210.6	100.10	107.00	6.89	5.55	7.22	18.20	延性破壊
TYPE3-R1-2	29.6	1620	9376	32.8	1795	205.5	100.30	106.95	6.63	5.51	6.96	18.26	延性破壊
TYPE3-R1-3	29.9	1639	11162	33.0	1807	180.4	100.05	106.70	6.65	5.42	6.77	18.26	延性破壊
平均値	-	1634	10158	-	1804	198.8	-	-	6.72	5.49	6.98	-	-
TYPE3-R2-1	23.3	1615	10161	25.8	1785	199.6	100.20	106.20	5.99	5.49	6.59	14.44	延性破壊
TYPE3-R2-2	23.6	1610	12200	26.1	1777	162.7	100.05	106.15	6.10	5.84	7.31	14.66	延性破壊
TYPE3-R2-3	23.5	1617	10129	26.0	1786	198.2	100.30	105.50	5.18	5.43	6.63	14.55	延性破壊
平均値	-	1614	10830	-	1782	186.8	-	-	5.76	5.59	6.85	-	-
TYPE3-R3-1	15.1	1612	10109	16.8	1792	198.3	100.00	標点外	—	5.52	—	9.395	延性破壊
TYPE3-R3-2	15.0	1622	9536	16.8	1822	209.1	100.05	105.15	5.10	5.45	6.14	9.246	延性破壊
TYPE3-R3-3	15.1	1610	9978	17.1	1819	202.8	100.15	105.00	4.84	5.30	6.80	9.395	延性破壊
平均値	-	1614	9874	-	1811	203.4	-	-	4.97	5.42	6.47	-	-

表-8.6 欠損PC鋼材引張試験結果(Type4)

試験片番号	0.2%永久伸びに対する荷重	0.2%永久伸びに対する応力	0.2%永久伸びに対するひずみ	最大荷重	引張強度	弾性係数	標点距離(mm)		突合せ伸び	均一伸び	破断伸び	実測断面積	破断状況
	(kN)	(N/mm^2)	($*10^{-6}$)	(kN)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)	試験前	試験後	(%)	(%)	(%)	(mm^2)	
TYPE4-φ2-1	5.2	1838	6943	5.6	1989	341.1	99.70	101.40	1.71	1.83	2.27	2.831	延性破壊
TYPE4-φ2-2	5.2	1840	7139	5.6	1994	342.1	100.00	101.90	1.90	1.92	2.41	2.830	延性破壊
TYPE4-φ2-3	5.1	1814	7609	5.5	1980	329.6	99.70	101.35	1.65	1.91	2.36	2.798	延性破壊
平均値	-	1830	7230	-	1988	337.6	-	-	1.75	1.89	2.35	-	-
TYPE4-φ3-1	11.7	1791	8109	12.8	1961	304.8	100.15	103.20	3.05	2.49	3.48	6.524	延性破壊
TYPE4-φ3-2	11.9	1873	8542	13.0	2049	299.7	100.15	103.35	3.20	2.68	4.72	6.339	延性破壊
TYPE4-φ3-3	12.9	1919	7778	13.3	1982	299.3	100.55	103.70	3.13	2.70	3.67	6.723	延性破壊
平均値	-	1861	8143	-	1997	301.3	-	-	3.12	2.62	3.96	-	-
TYPE4-φ4-1	21.3	1812	8966	23.3	1985	261.4	99.80	103.50	3.71	2.90	4.24	11.76	延性破壊
TYPE4-φ4-2	21.2	1786	9265	23.3	1969	250.3	100.00	103.90	3.90	2.99	4.21	11.85	延性破壊
TYPE4-φ4-3	21.3	1765	8846	23.3	1938	259.5	100.05	103.65	3.60	2.93	4.27	12.04	延性破壊
平均値	-	1788	9026	-	1964	257.0	-	-	3.74	2.94	4.24	-	-

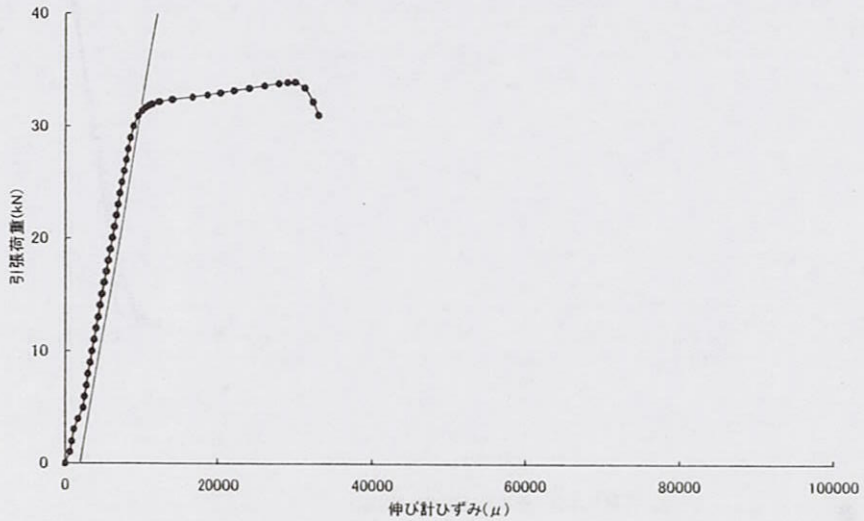
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R1-2



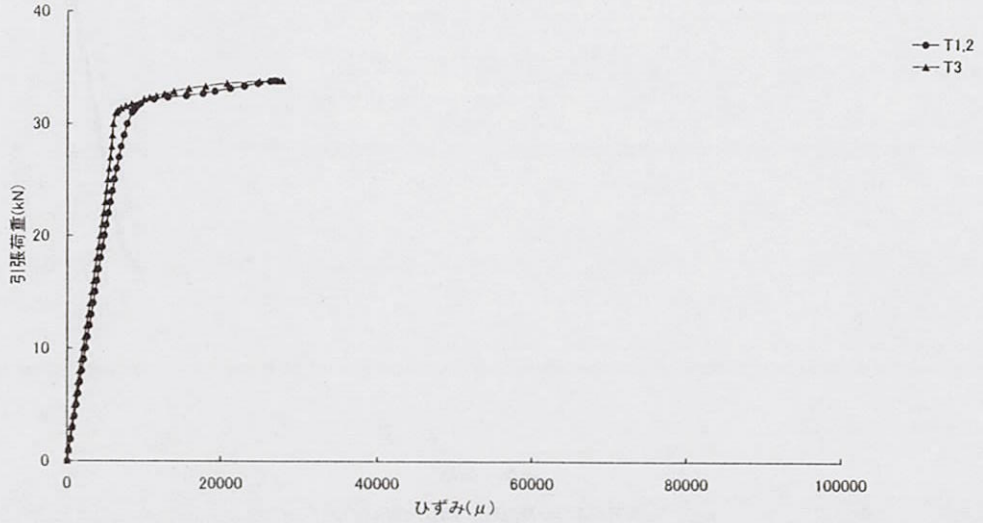
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R1-1



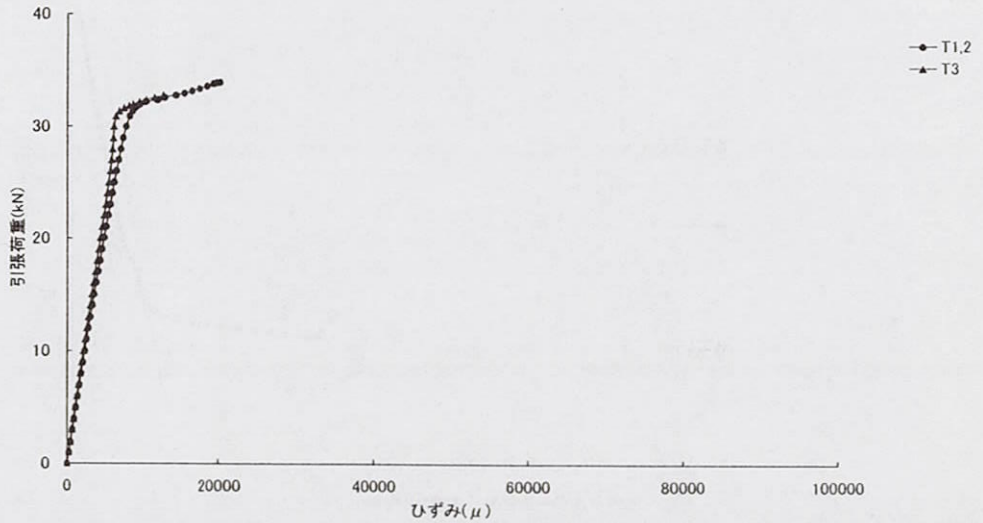
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R1-2



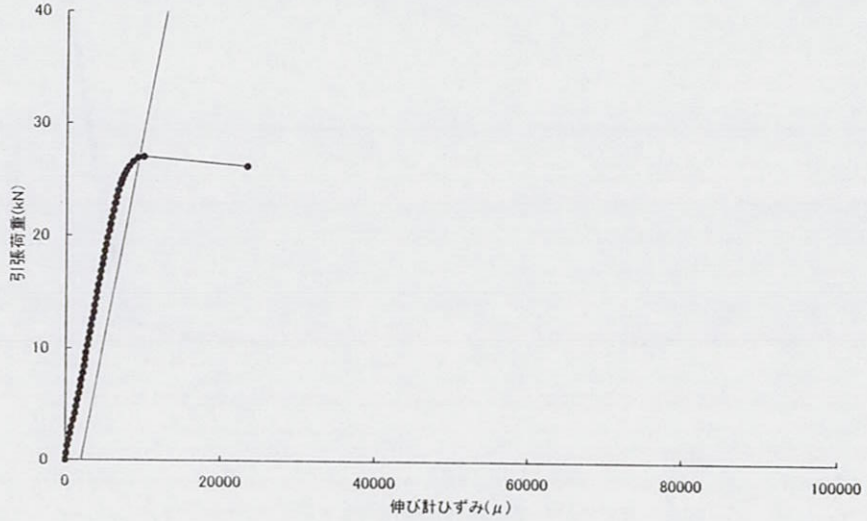
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R1-1



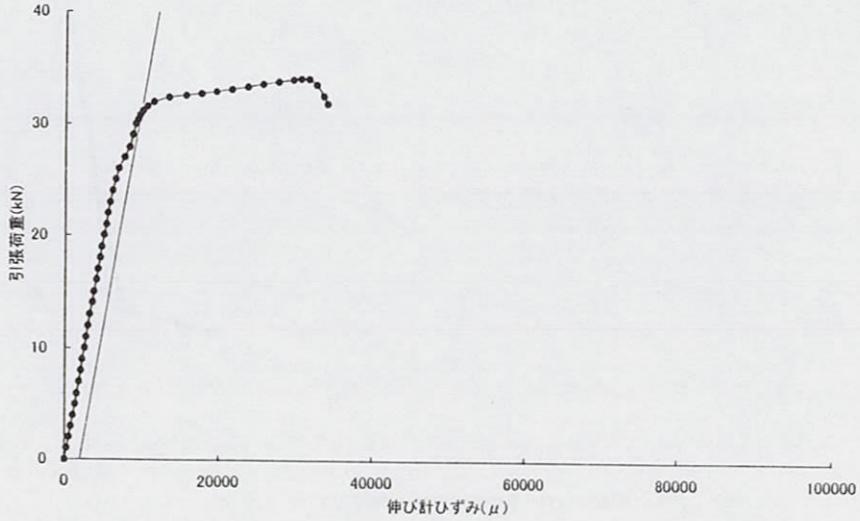
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R2-1



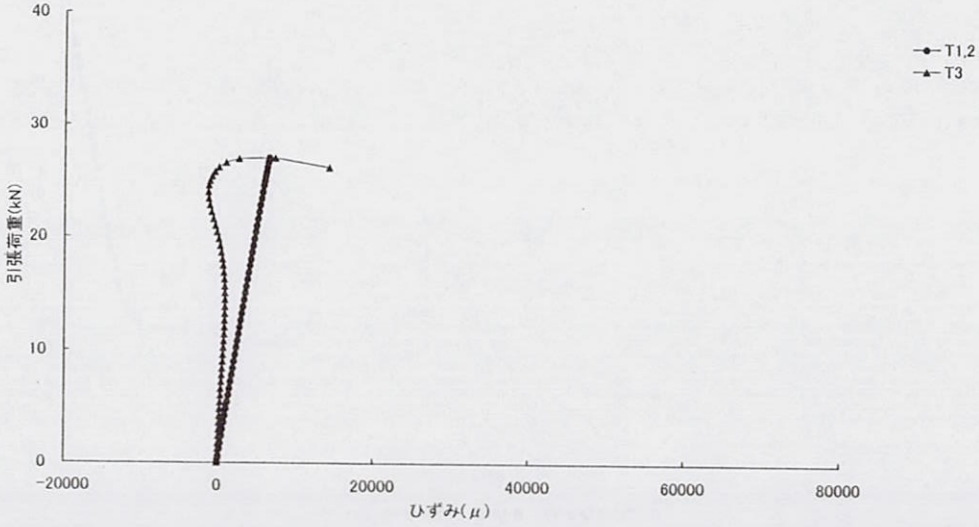
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R1-3



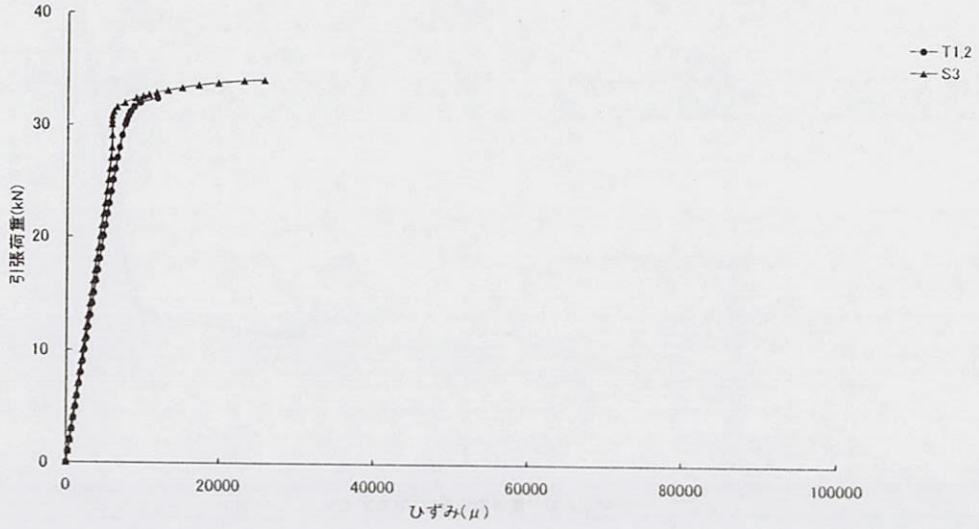
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R2-1



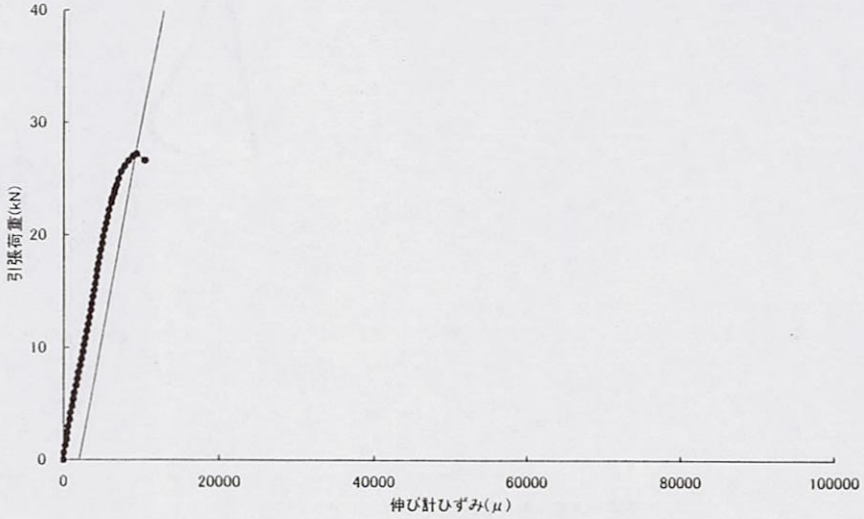
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R1-3



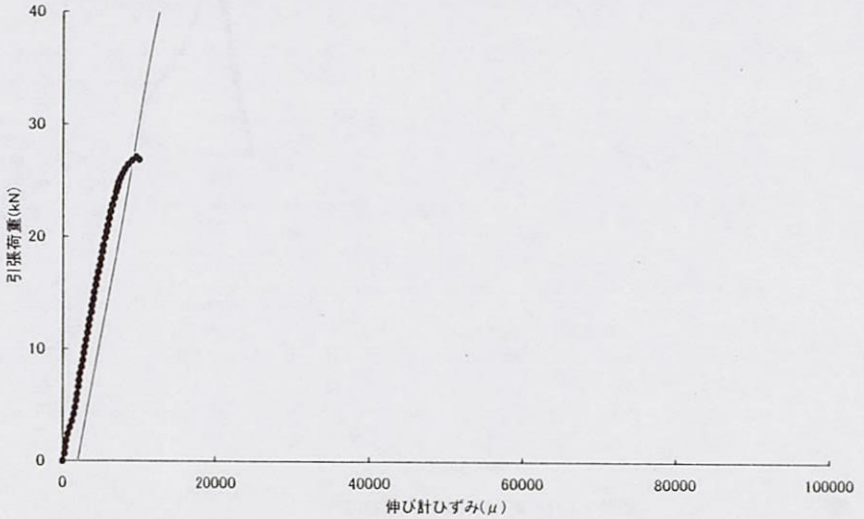
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R2-3



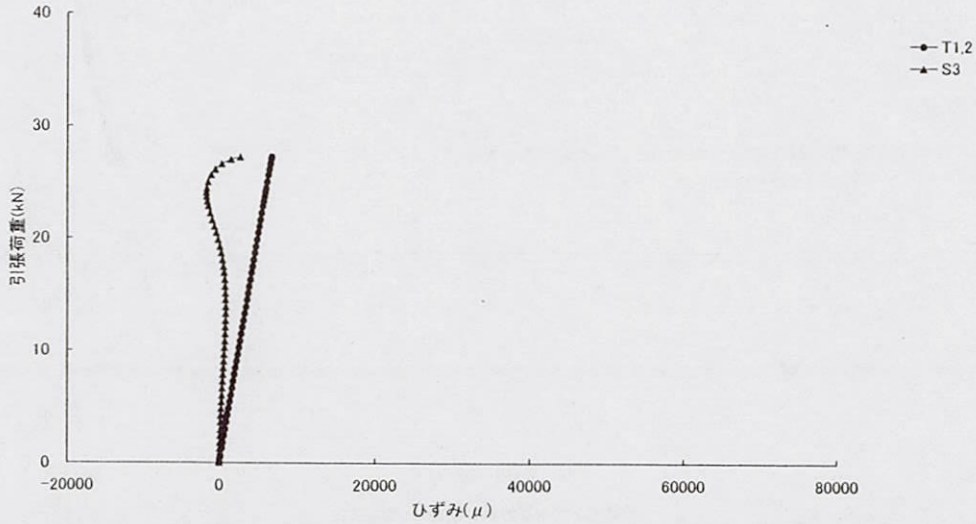
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R2-2



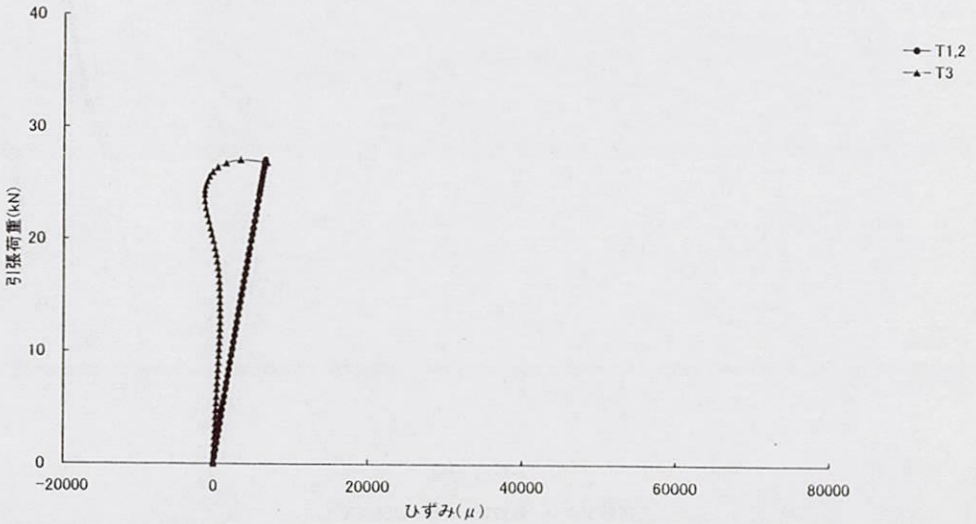
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R2-3



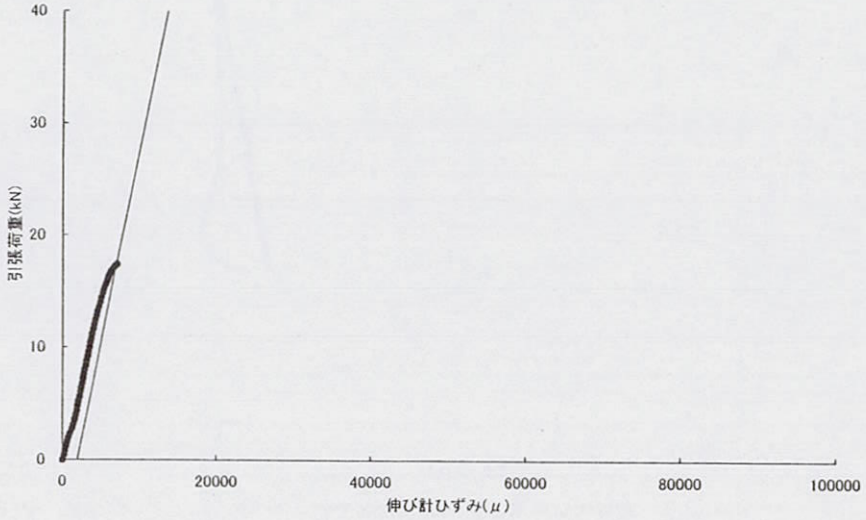
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R2-2



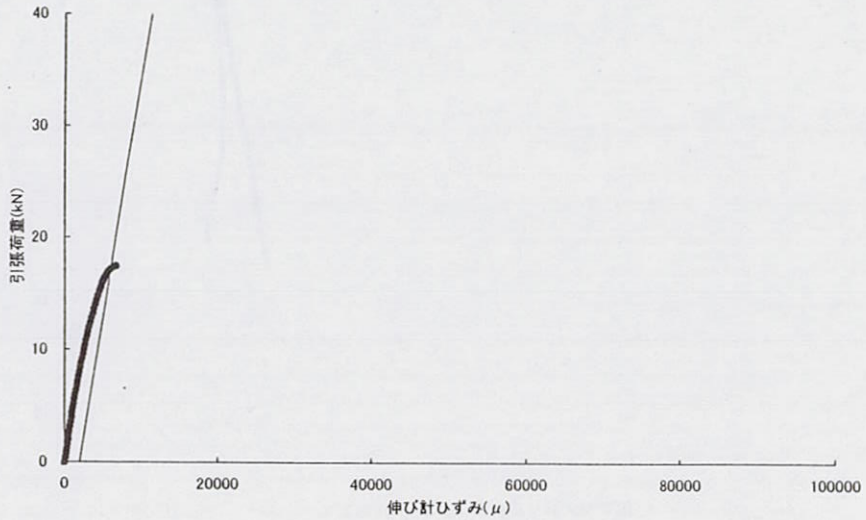
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R3-2



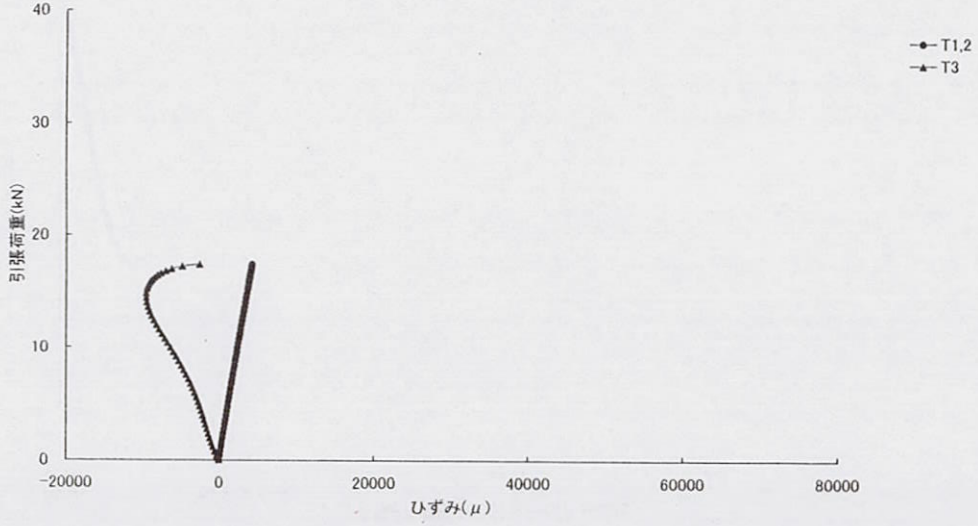
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R3-1



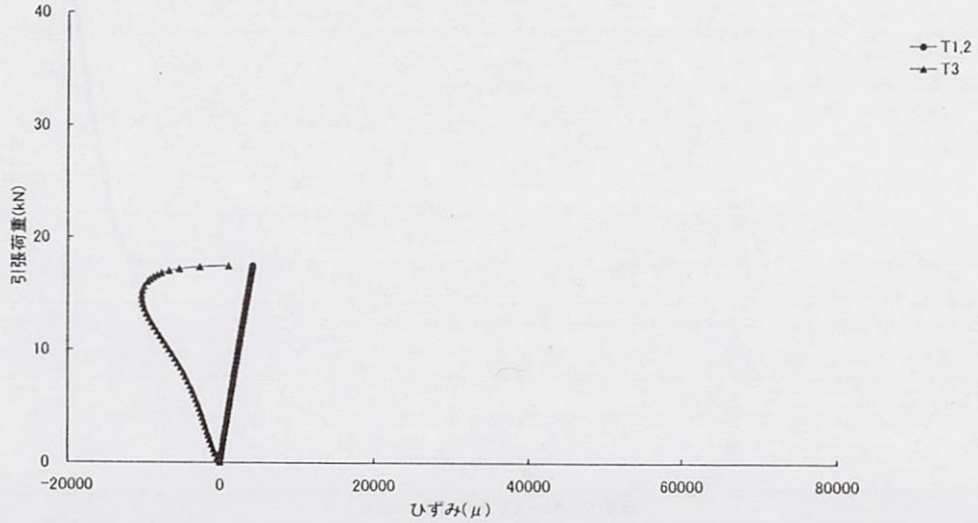
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R3-2



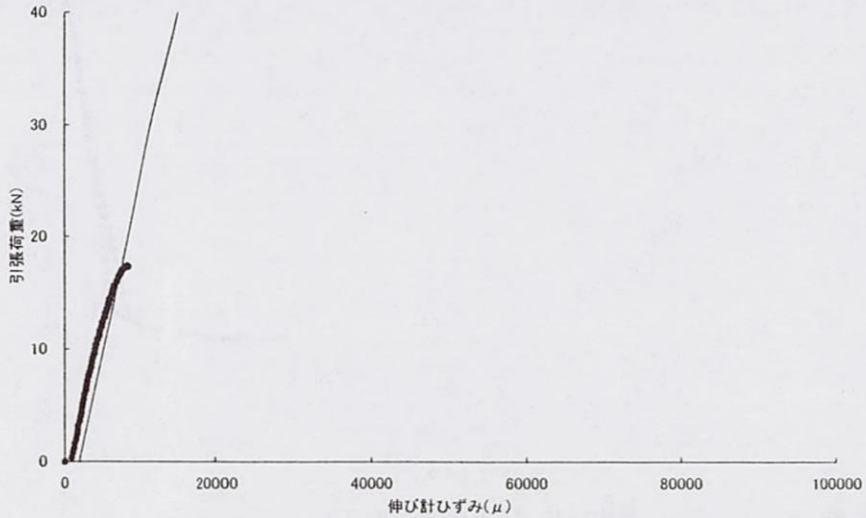
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R3-1



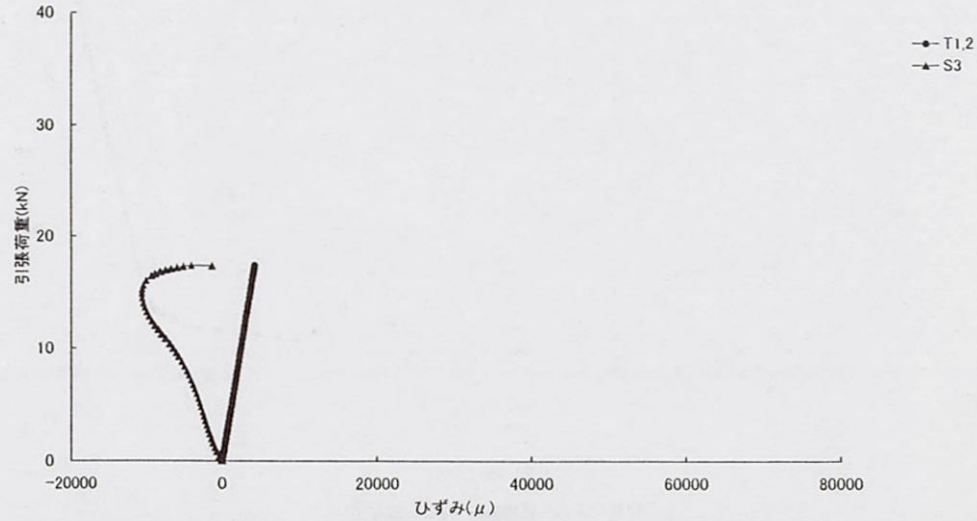
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R3-3



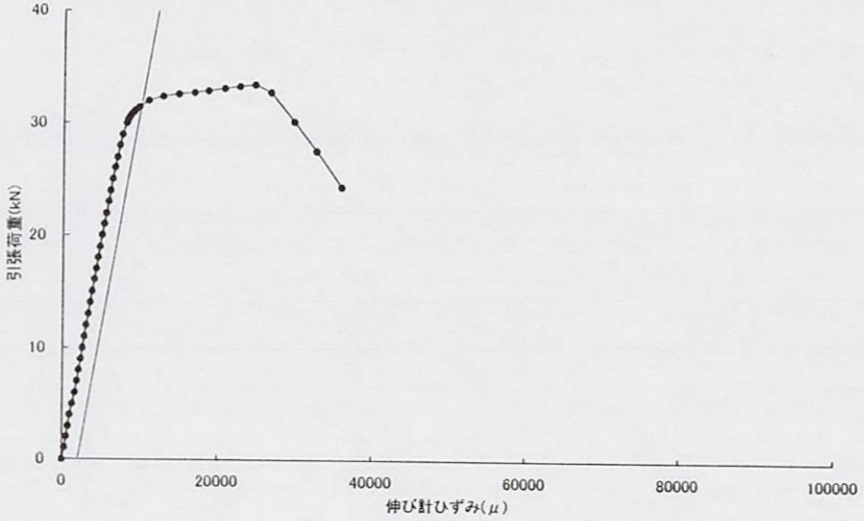
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE1-R3-3



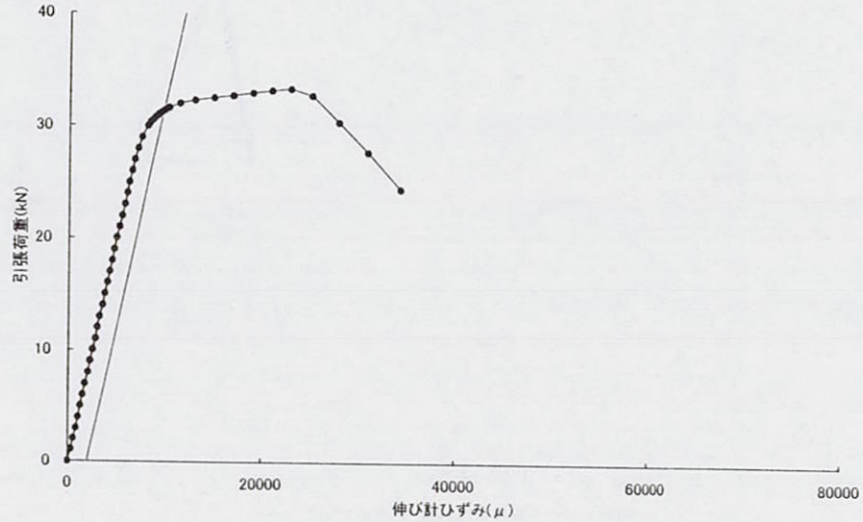
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L5-2



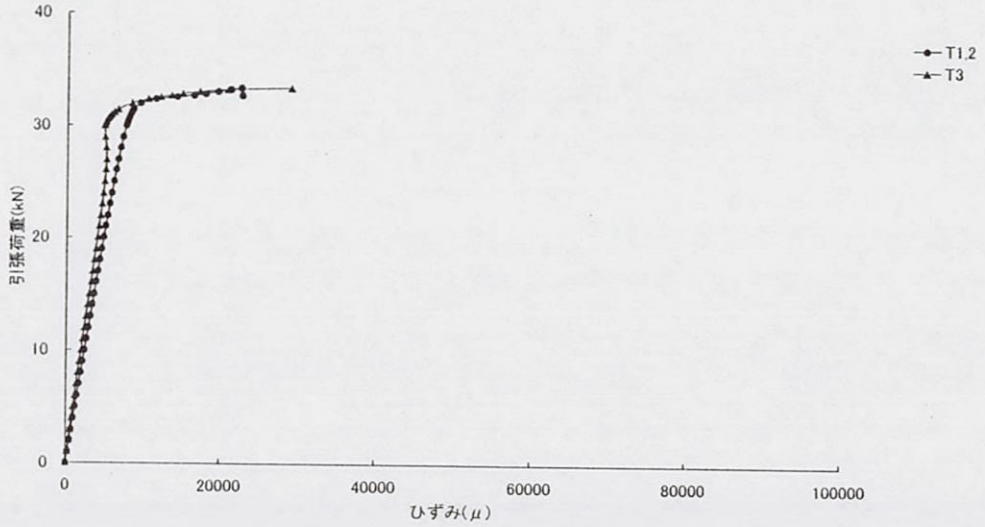
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L5-1



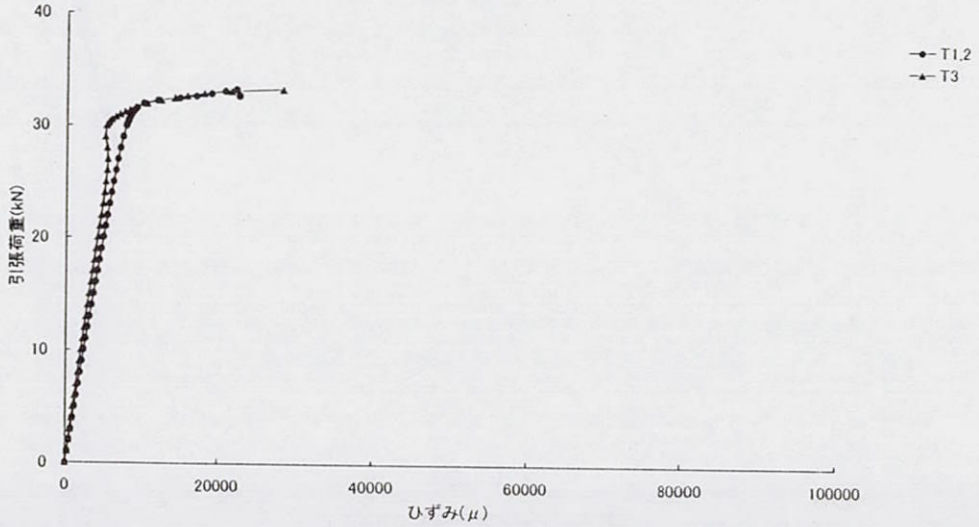
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L5-2



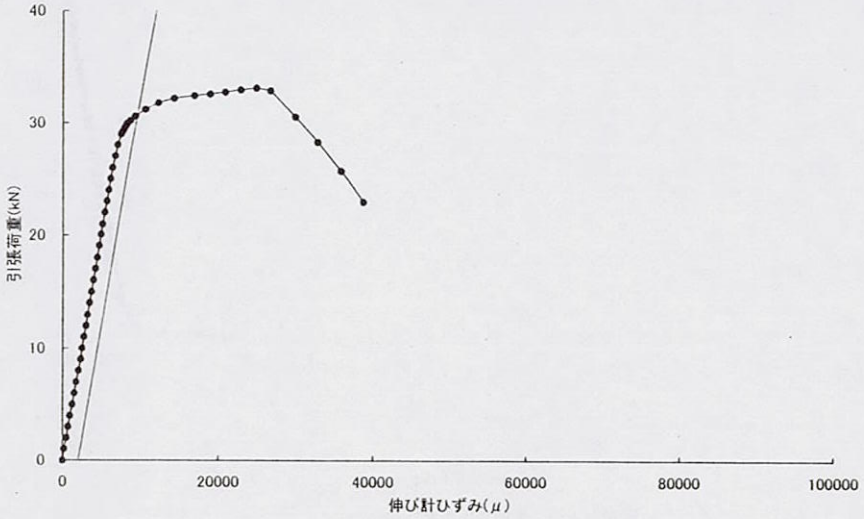
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L5-1



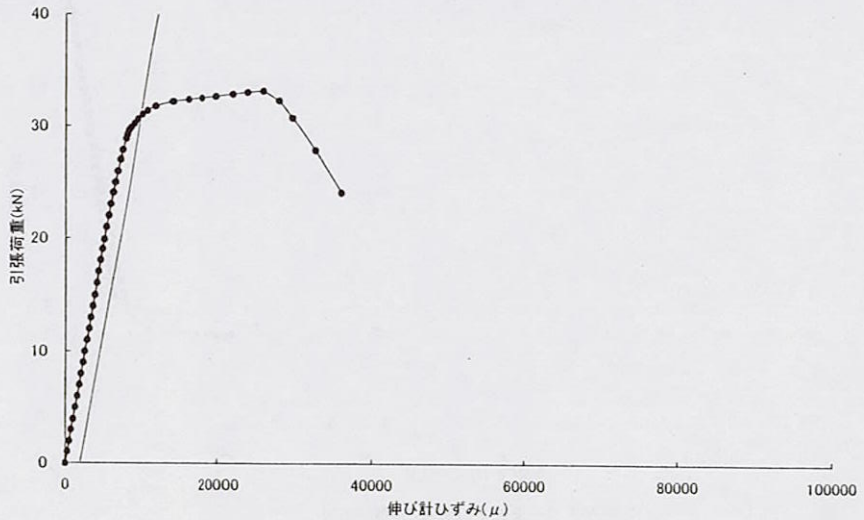
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L10-1



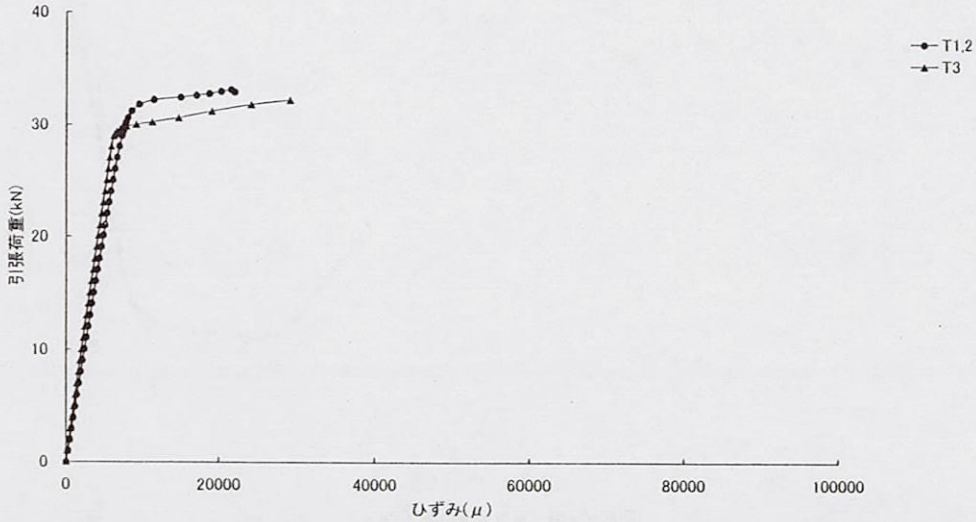
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L5-3



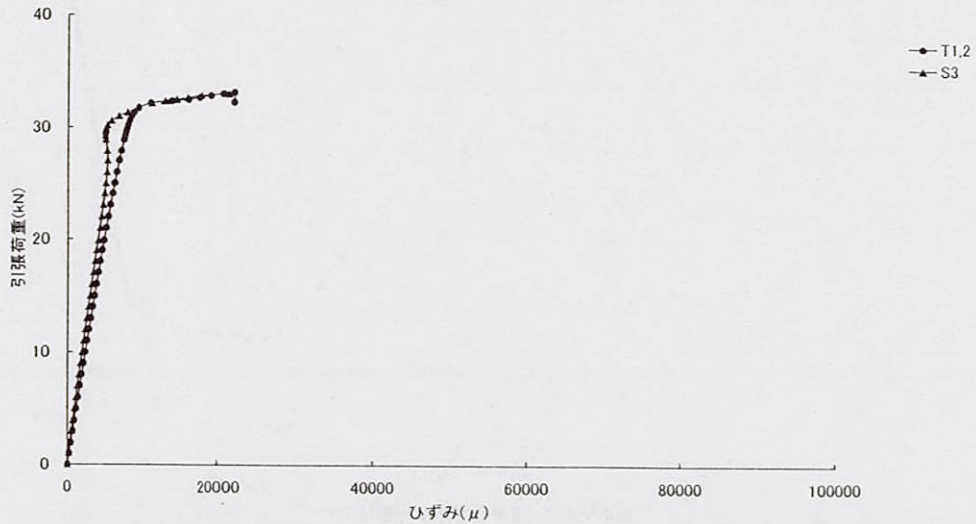
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L10-1



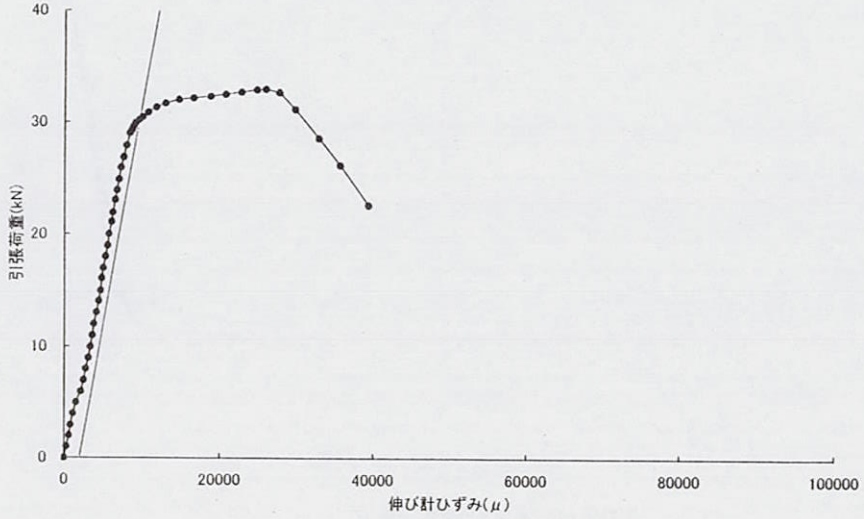
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L5-3



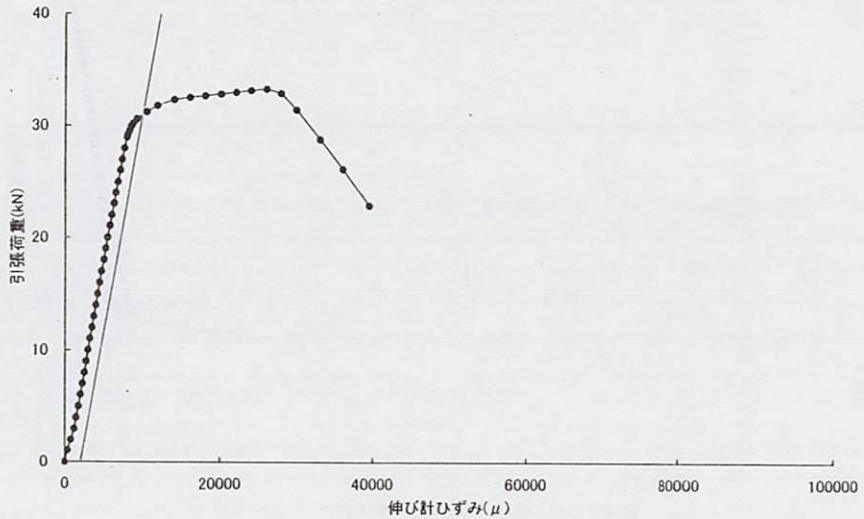
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L10-3



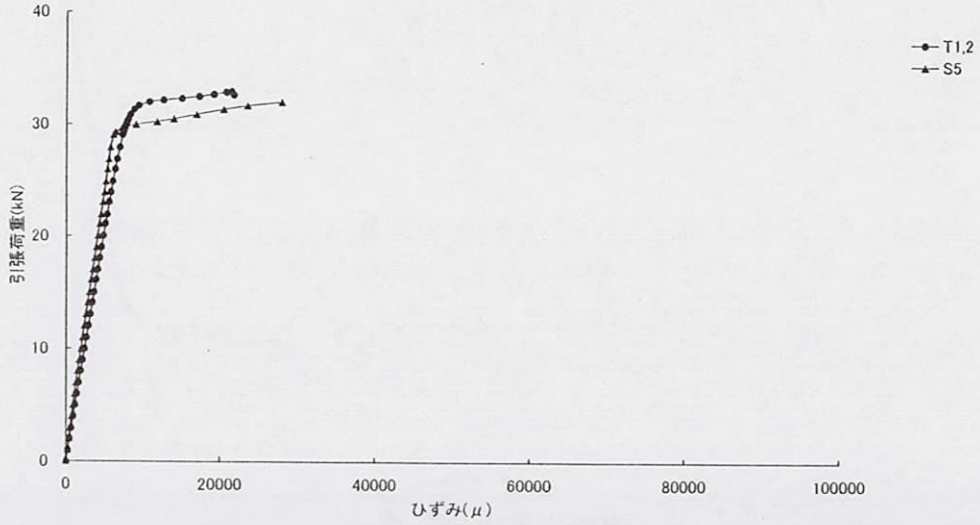
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L10-2



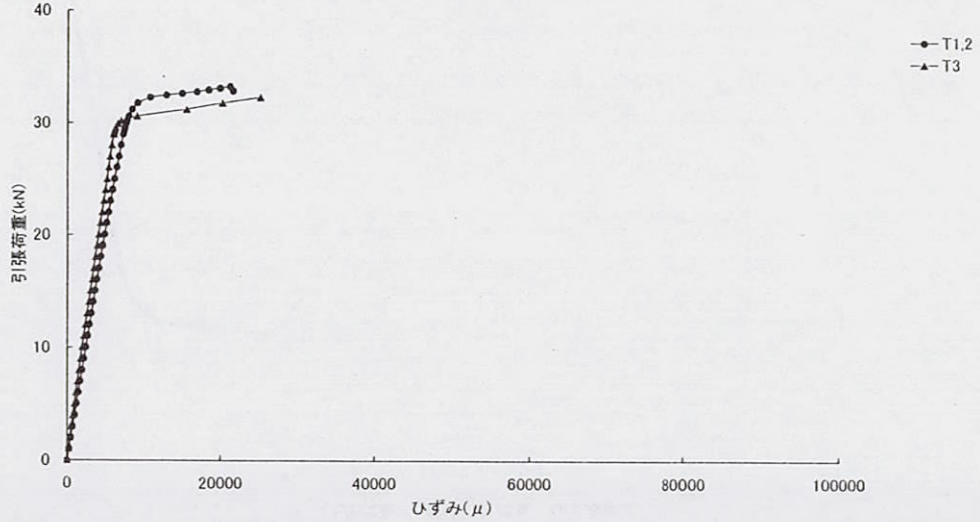
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L10-3



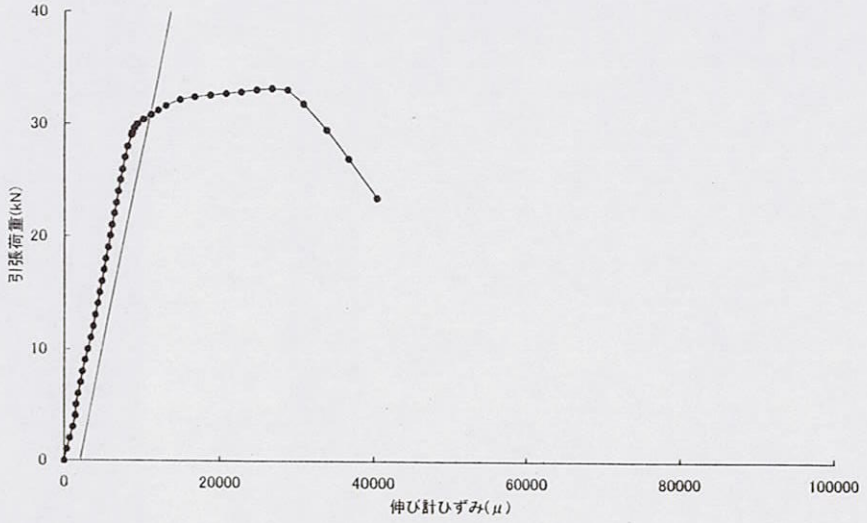
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L10-2



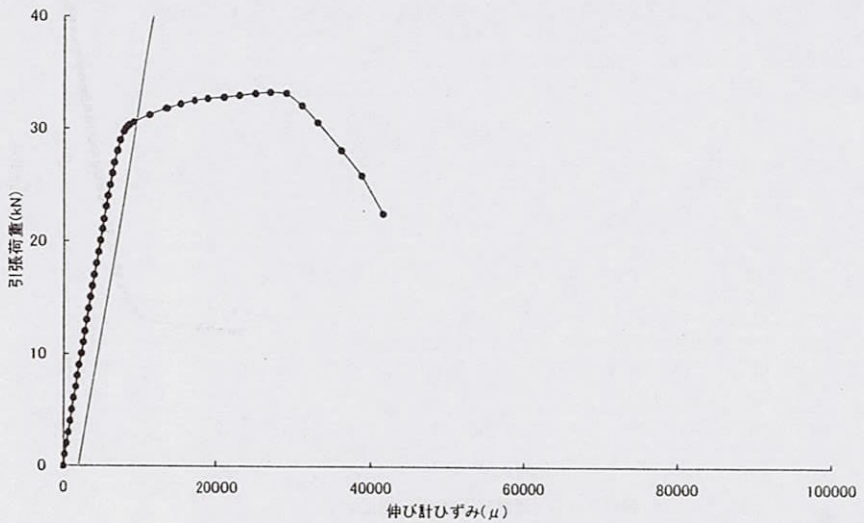
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L15-2



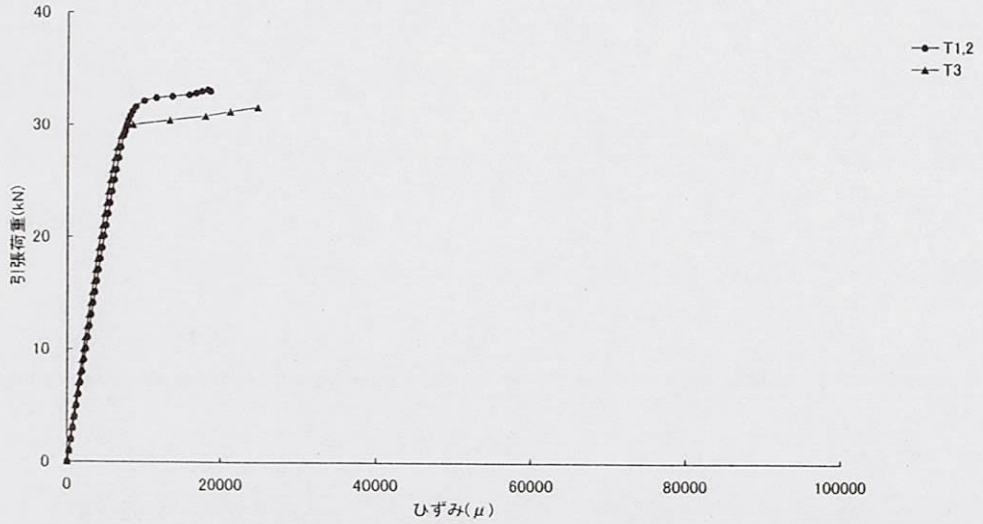
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L15-1



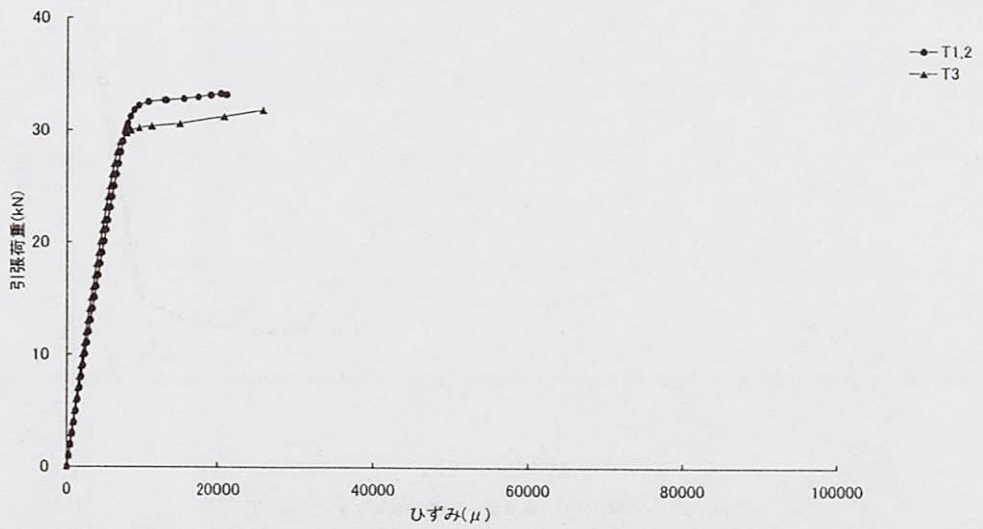
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L15-2



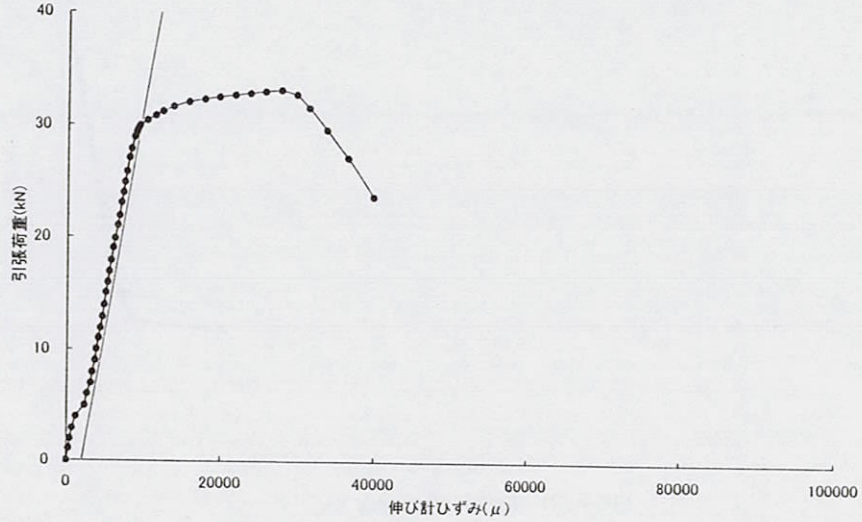
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L15-1



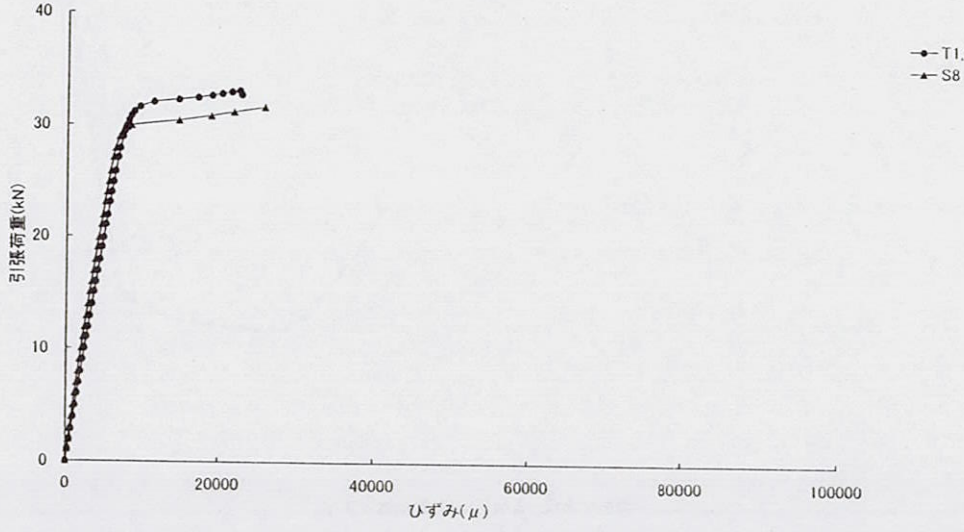
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L15-3



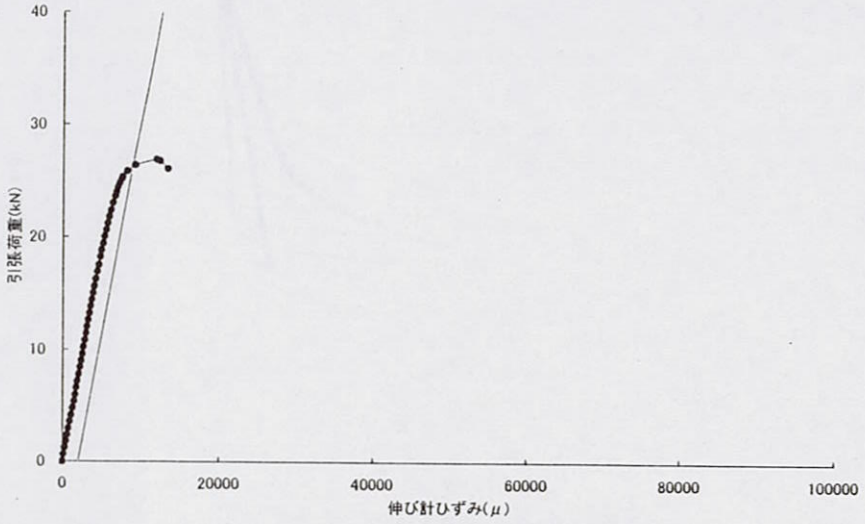
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R1-L15-3



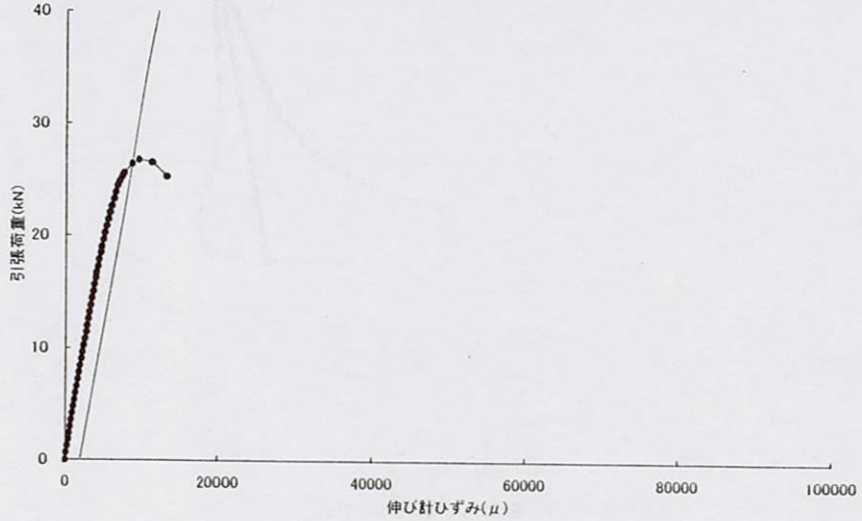
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L5-2



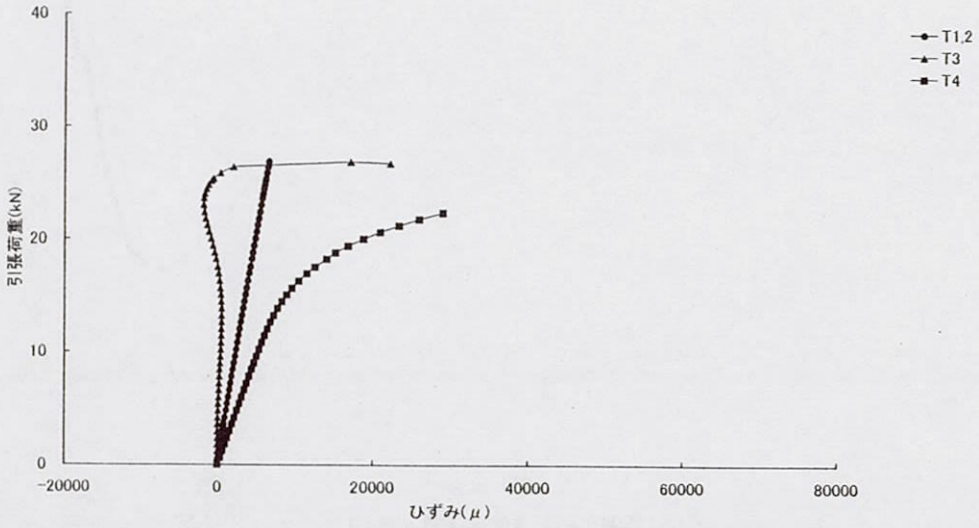
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L5-1



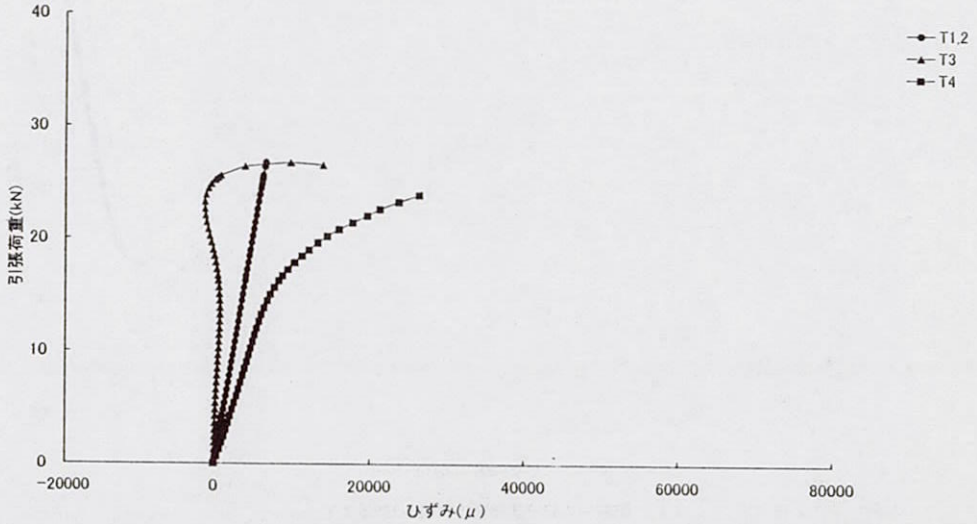
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L5-2



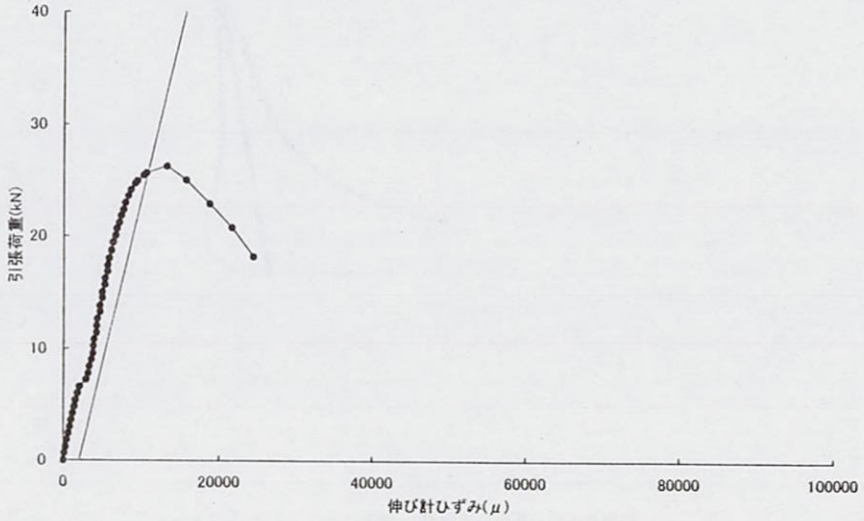
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L5-1



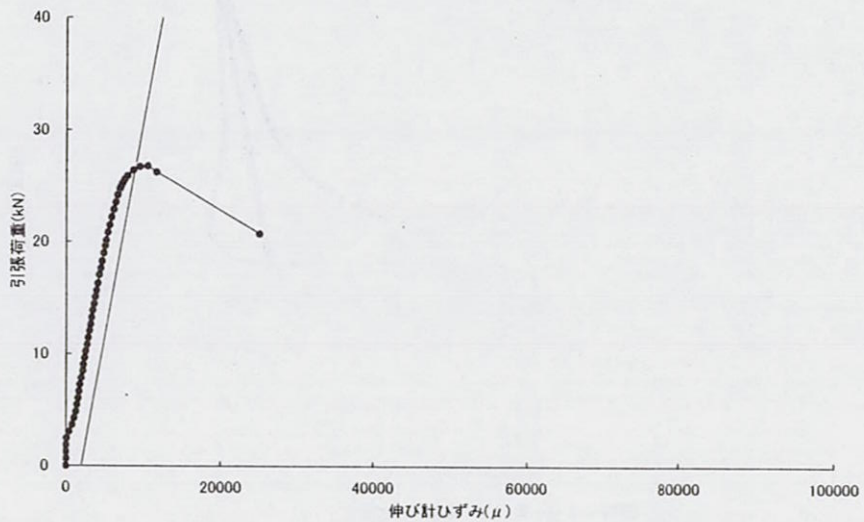
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L10-1



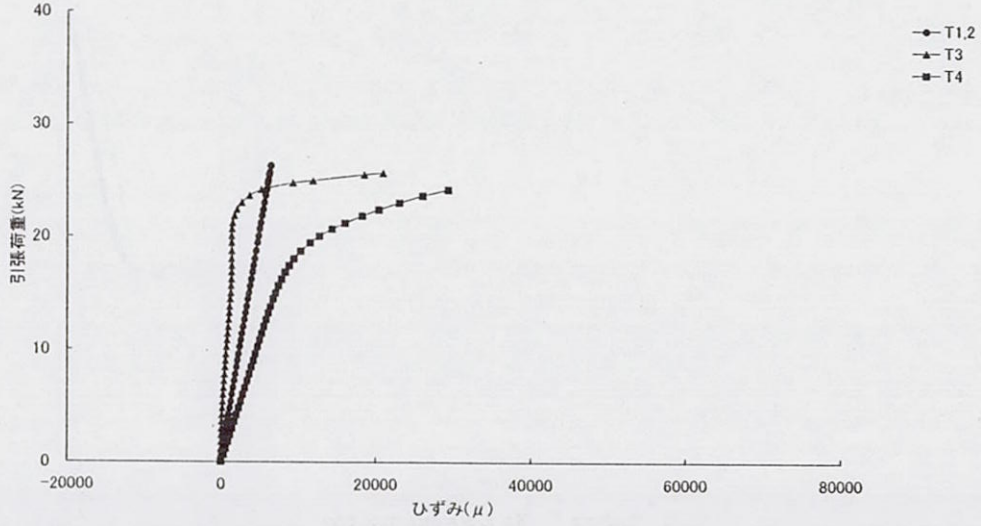
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L5-3



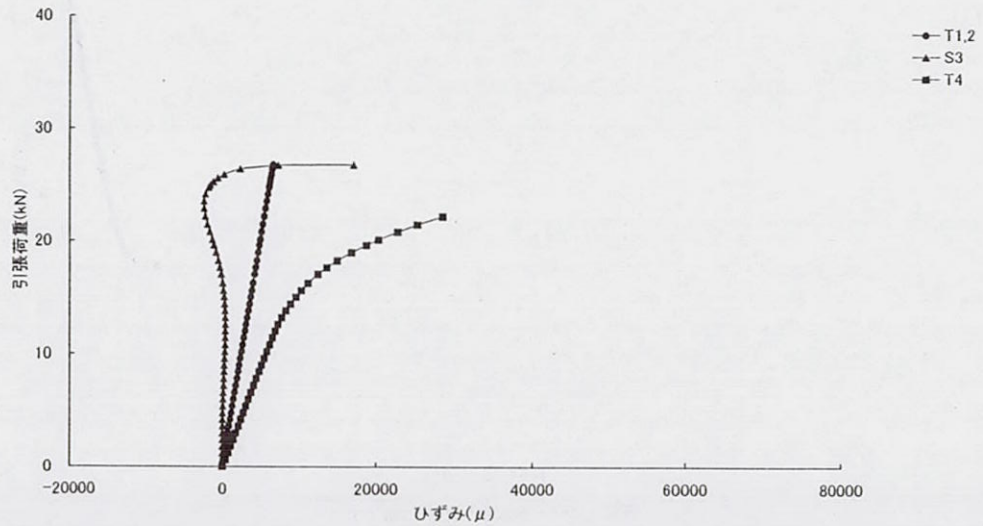
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L10-1



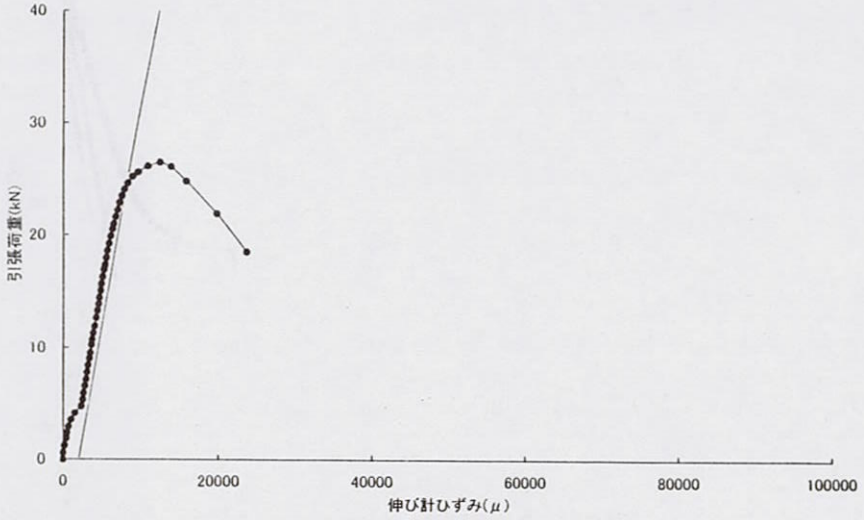
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L5-3



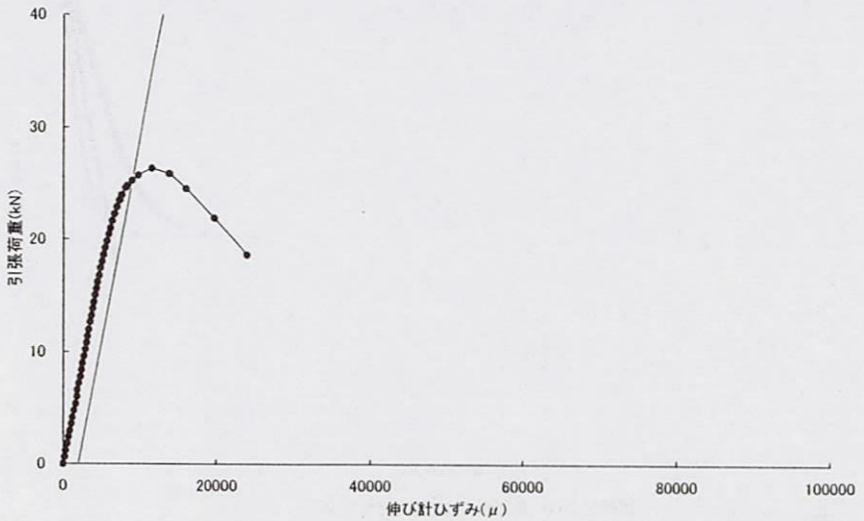
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L10-3



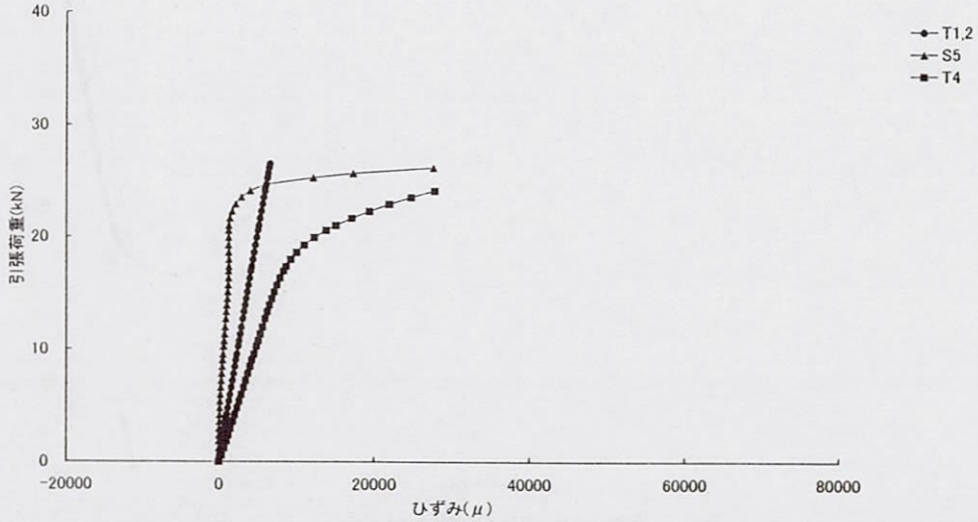
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L10-2



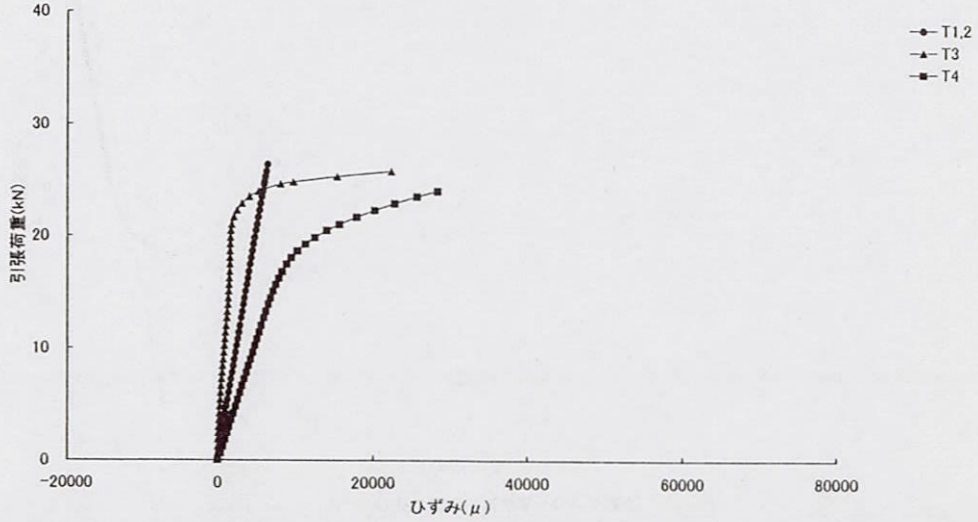
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L10-3



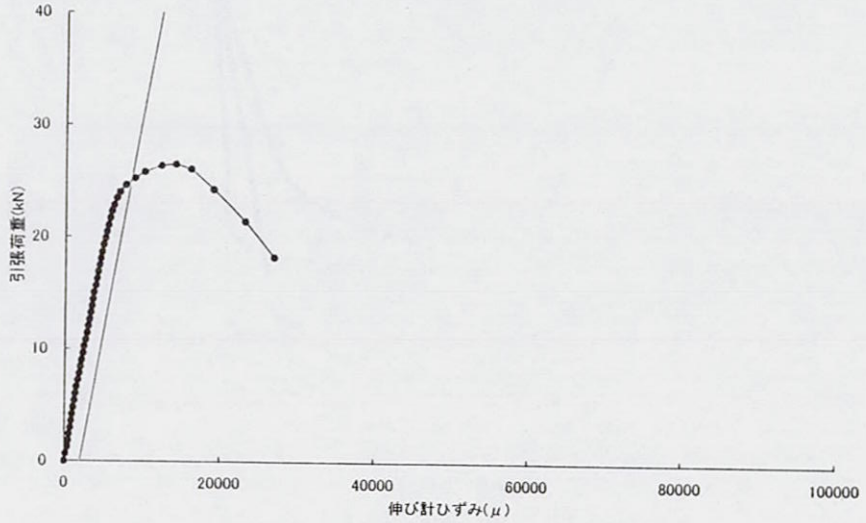
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L10-2



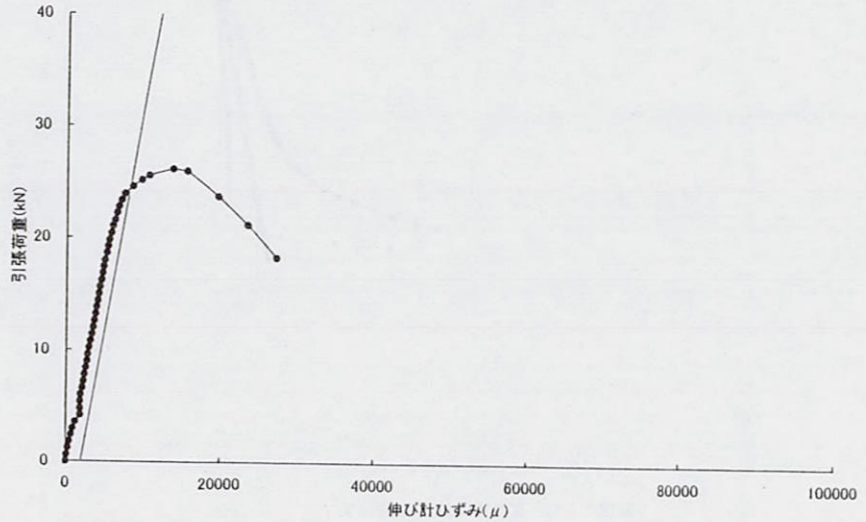
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L15-2



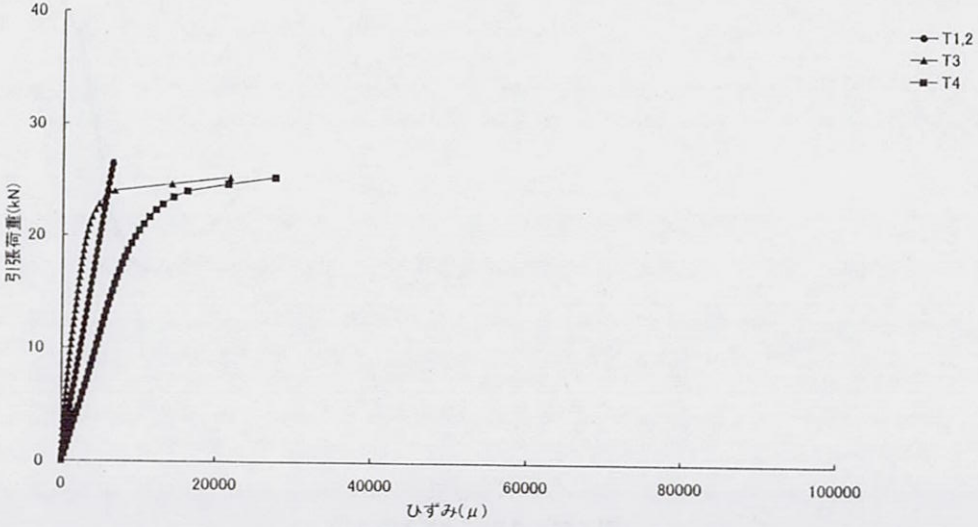
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L15-1



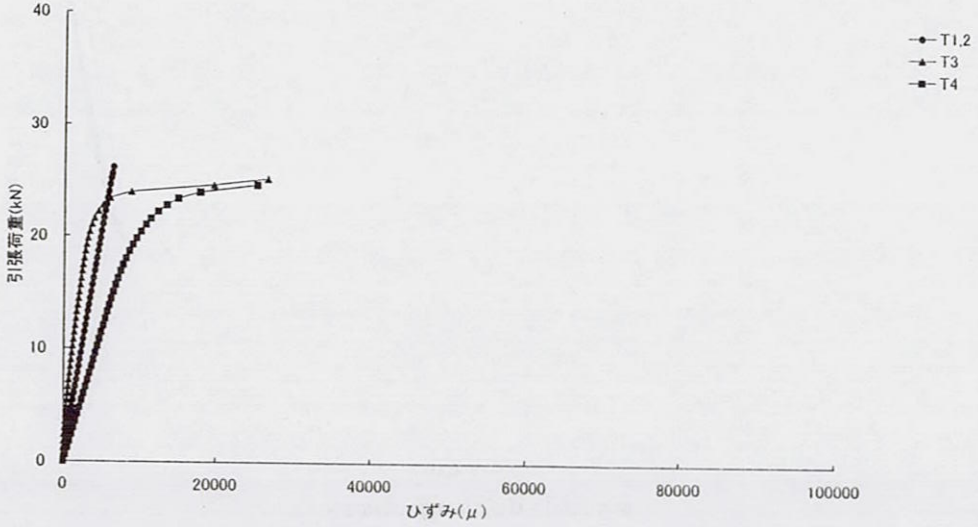
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L15-2



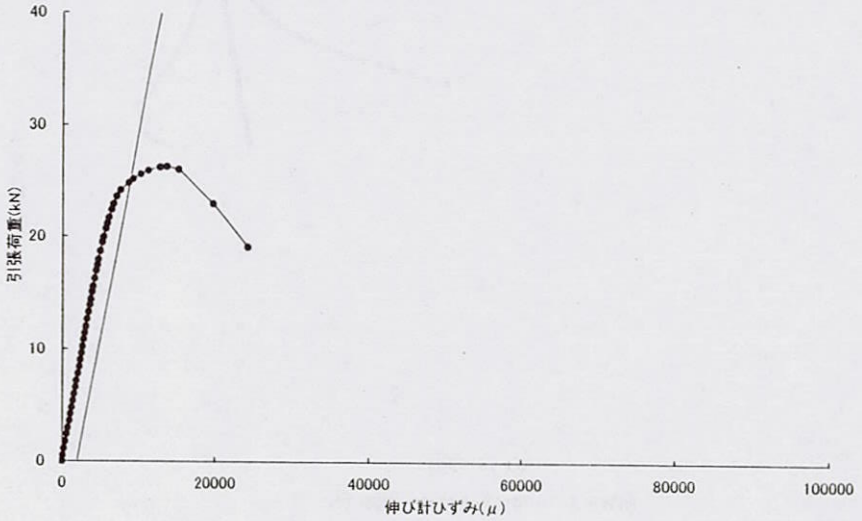
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L15-1



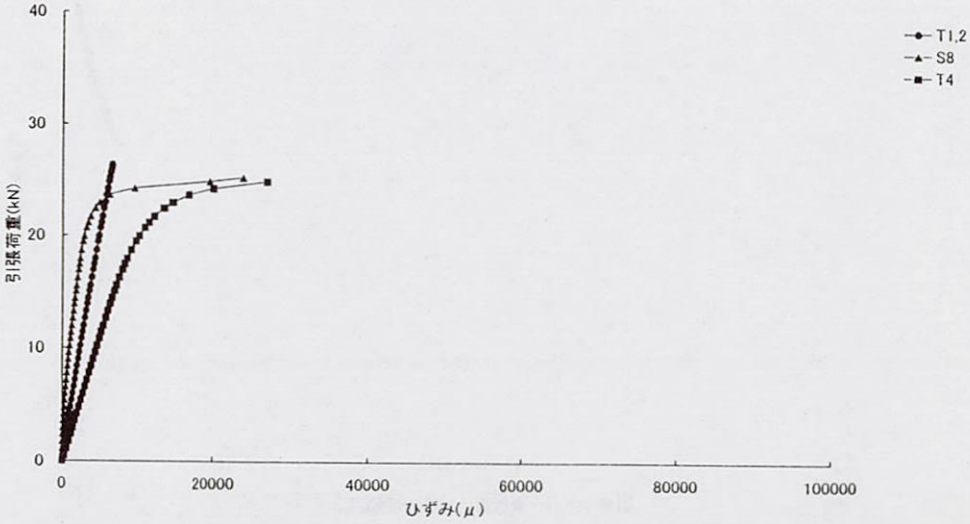
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L15-3



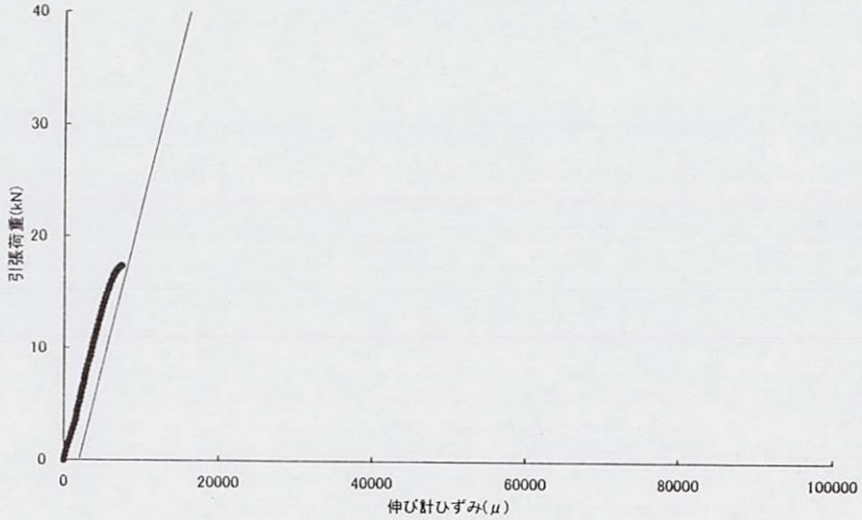
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R2-L15-3



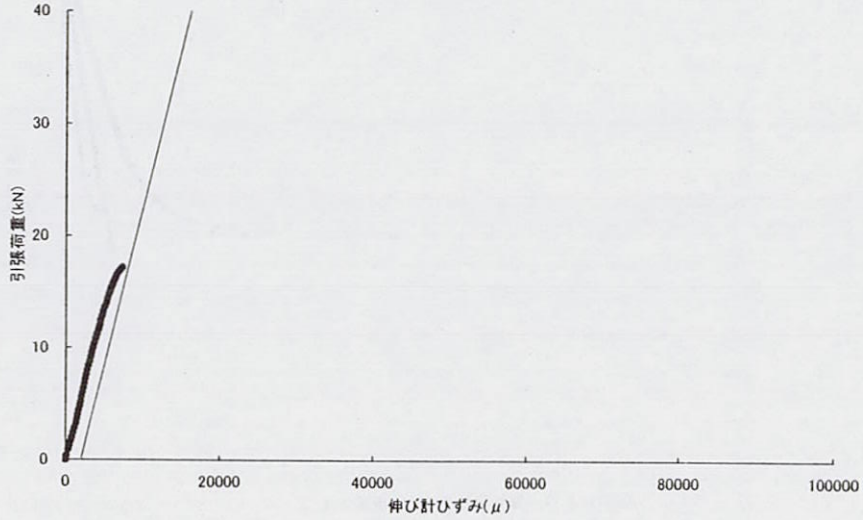
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L5-2



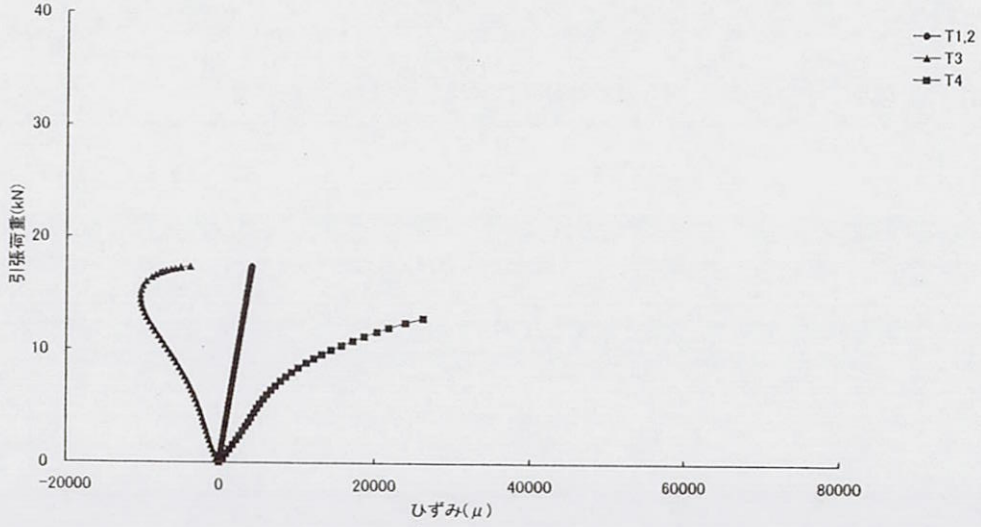
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L5-1



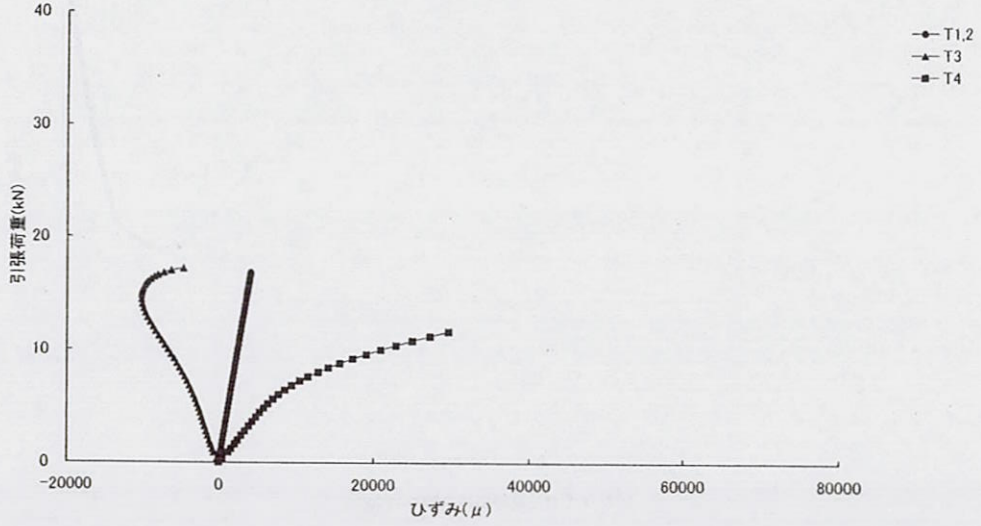
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L5-2



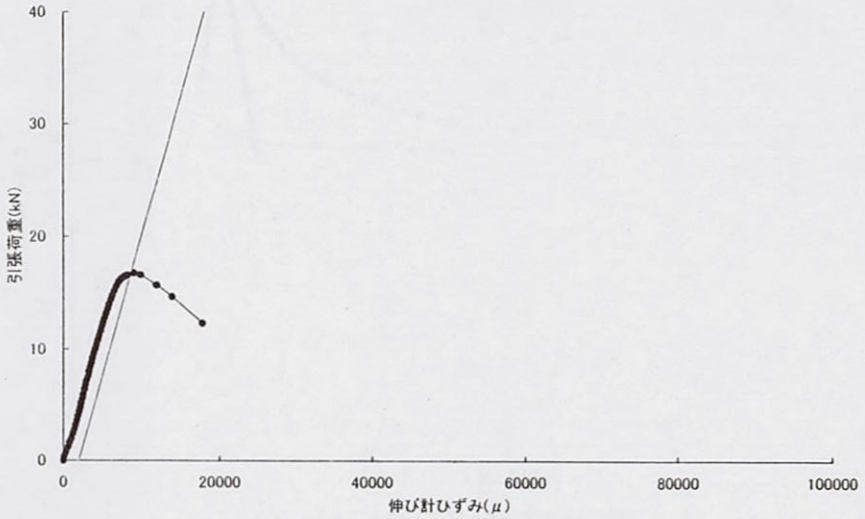
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L5-1



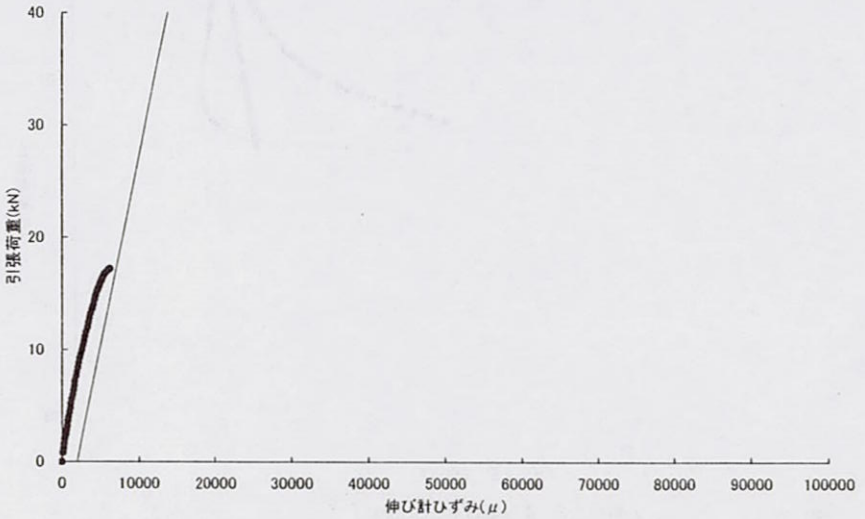
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L10-1



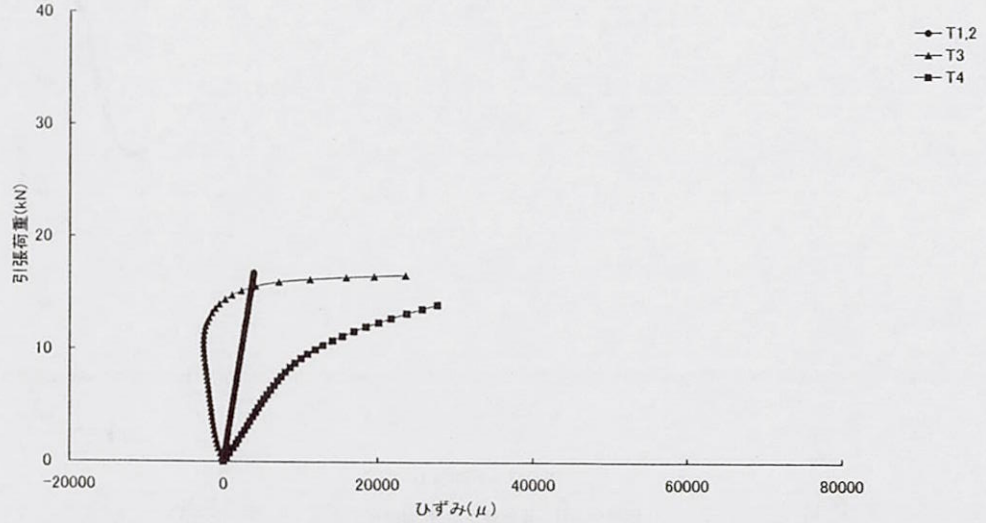
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L5-3



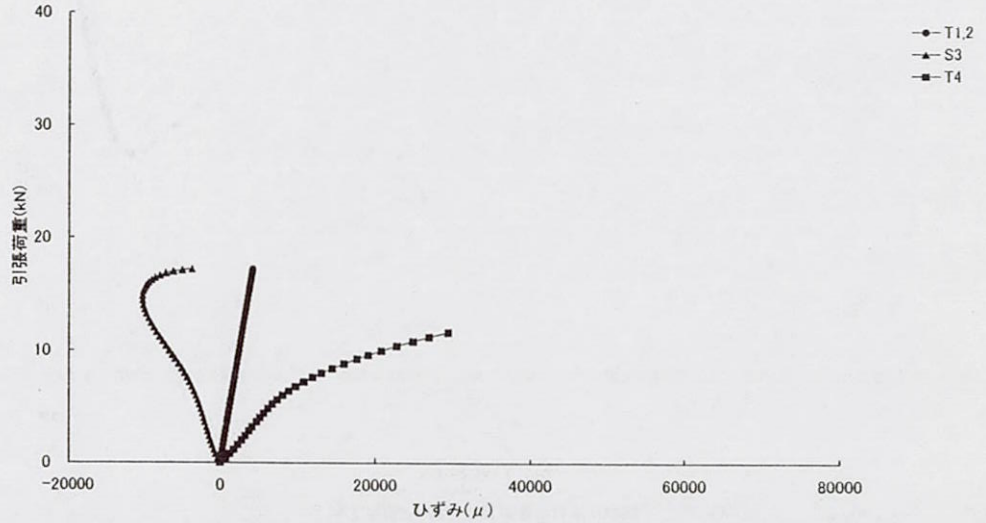
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L10-1



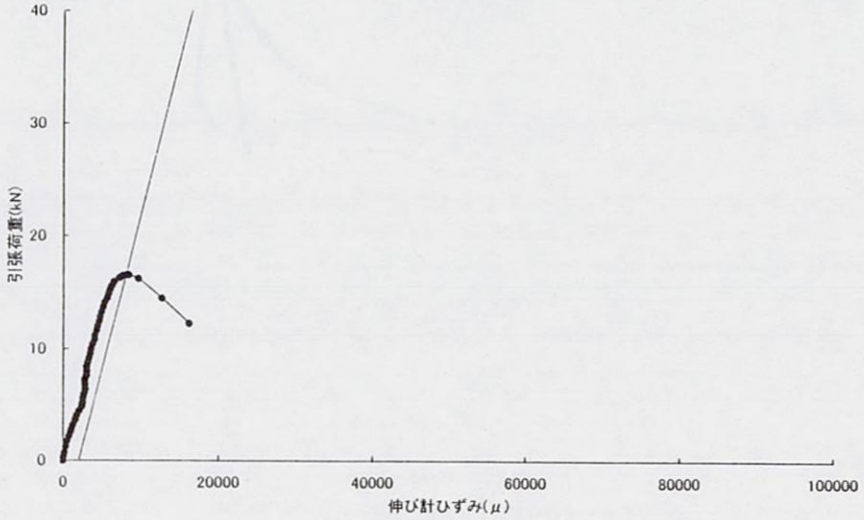
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L5-3



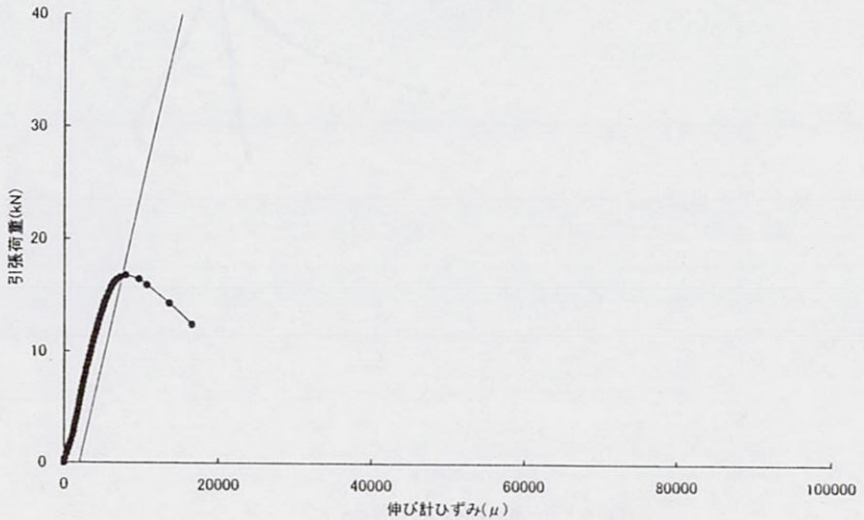
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L10-3



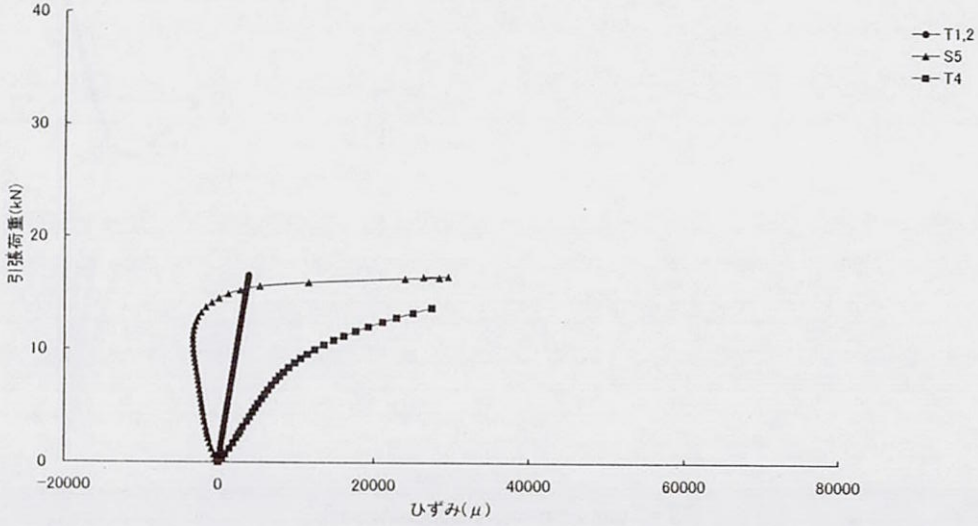
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L10-2



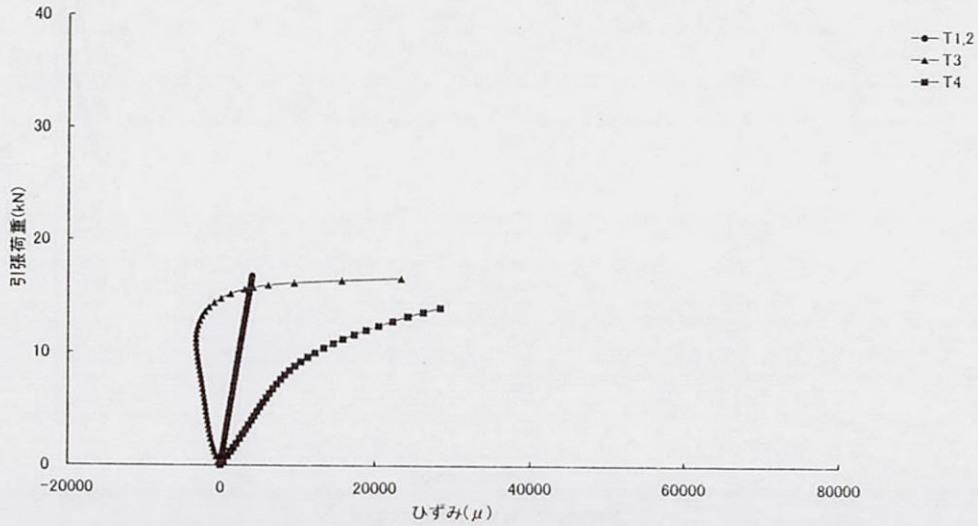
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L10-3



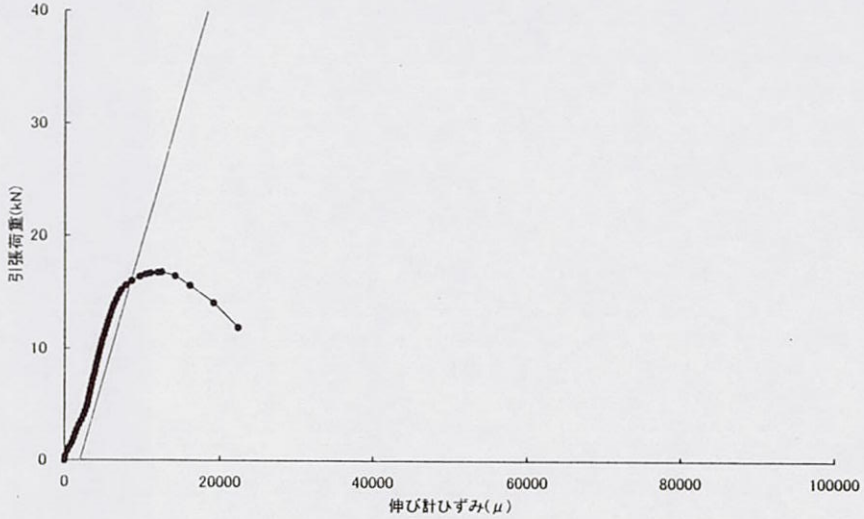
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L10-2



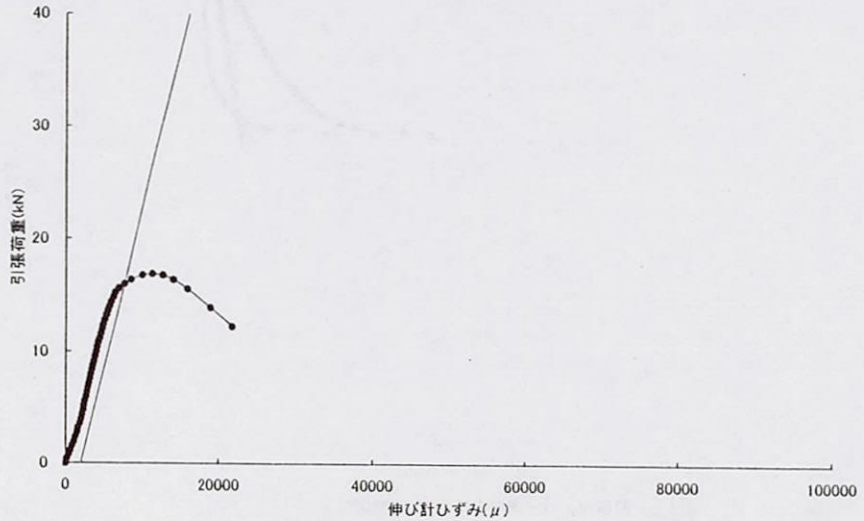
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L15-2



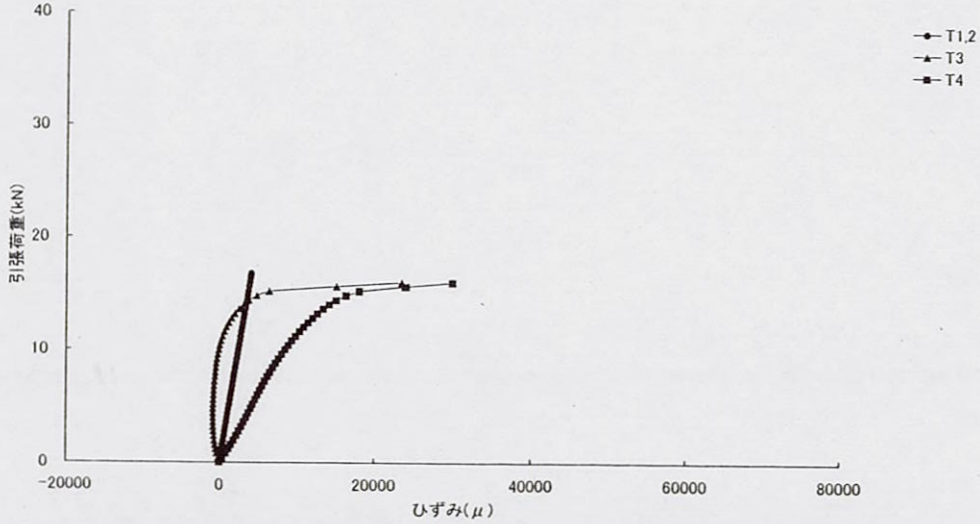
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L15-1



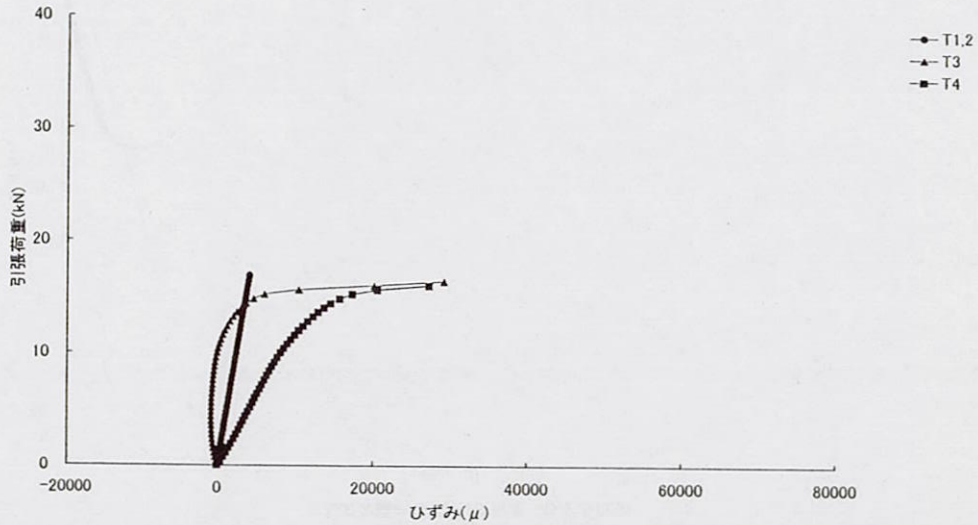
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L15-2



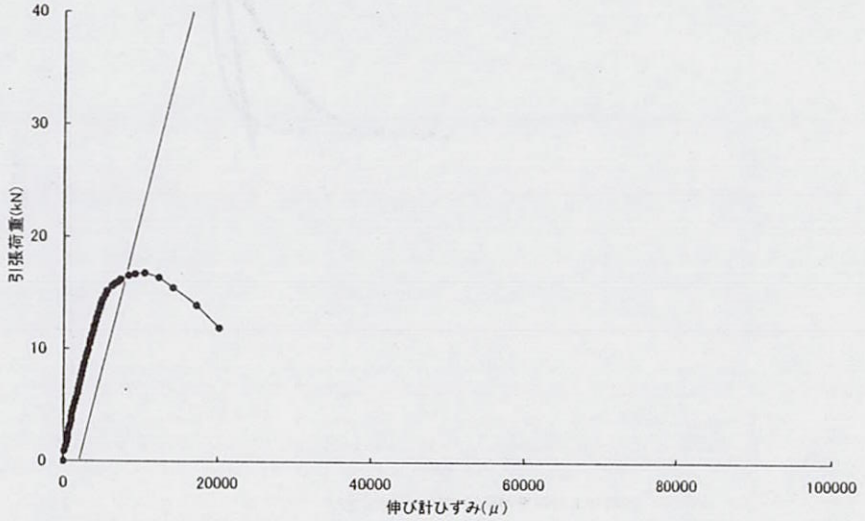
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L15-1



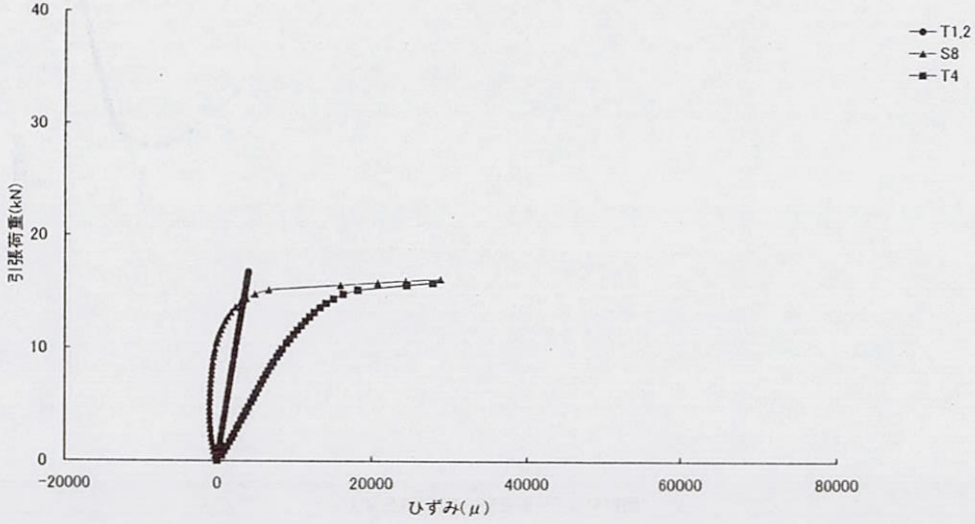
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L15-3



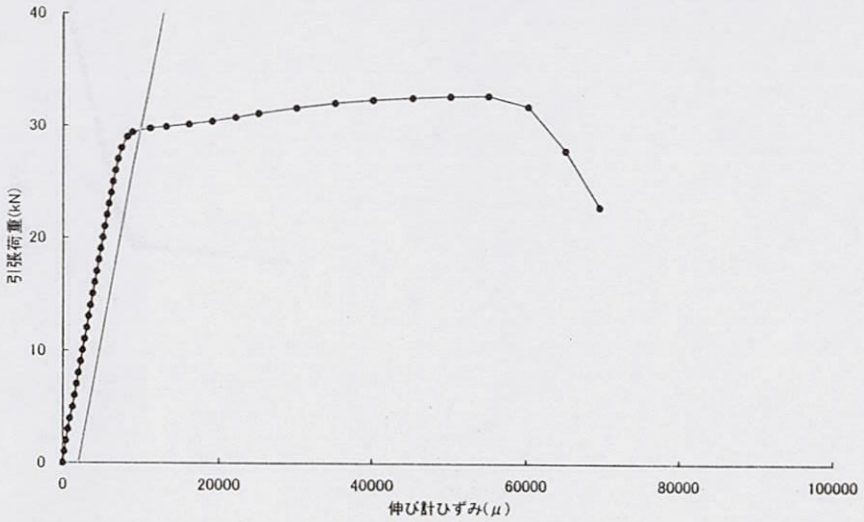
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE2-R3-L15-3



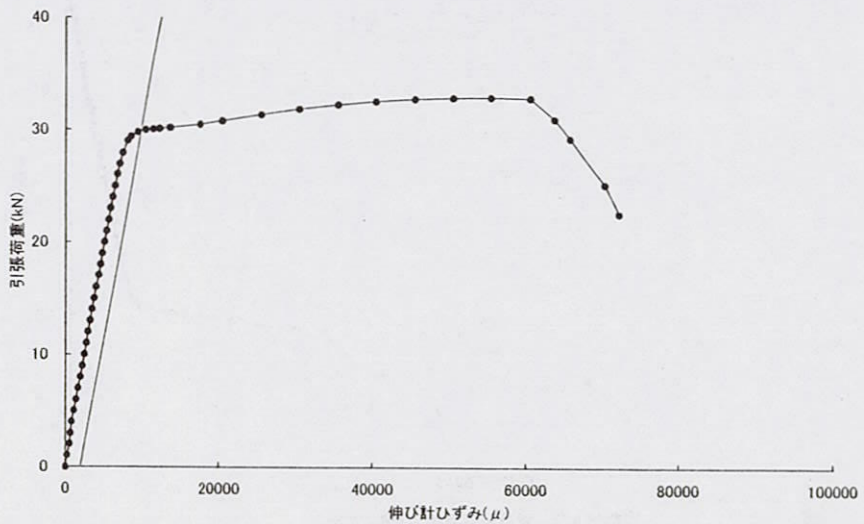
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R1-2



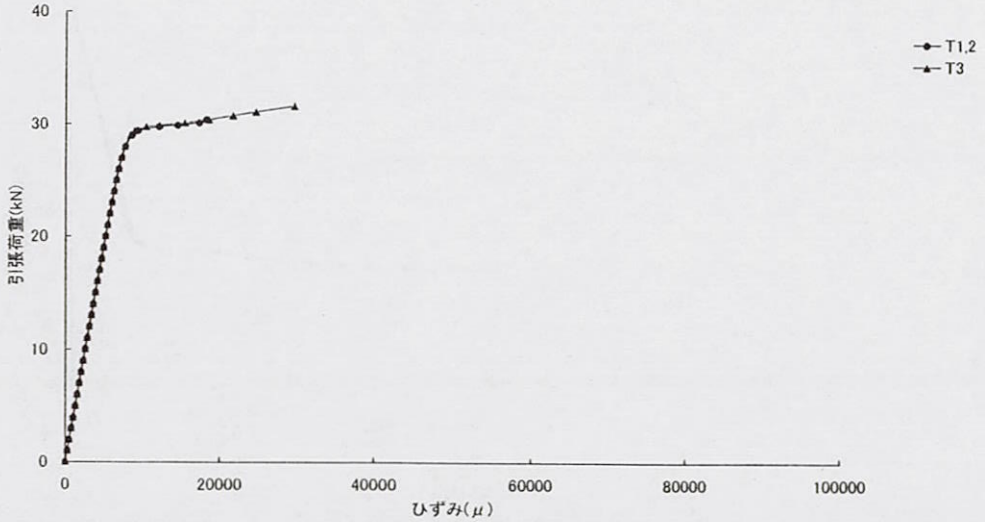
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R1-1



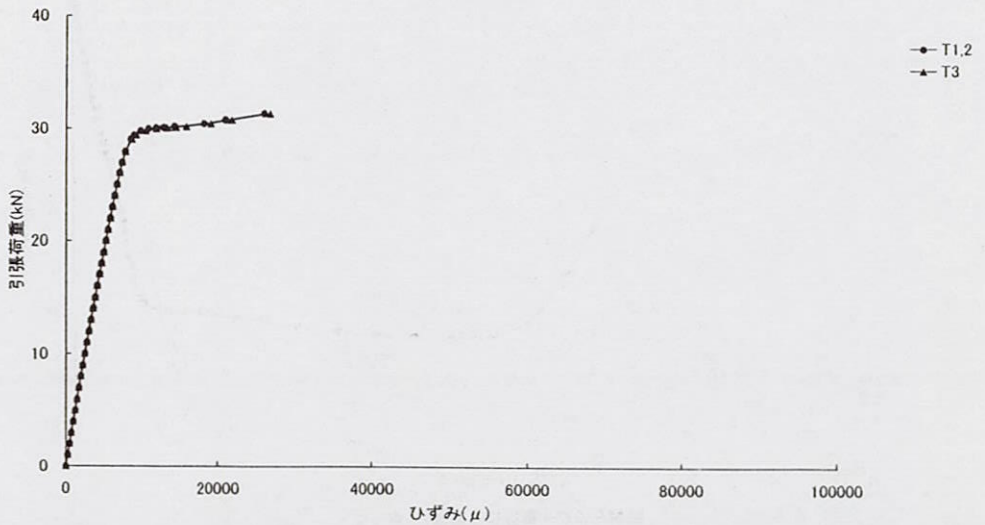
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R1-2



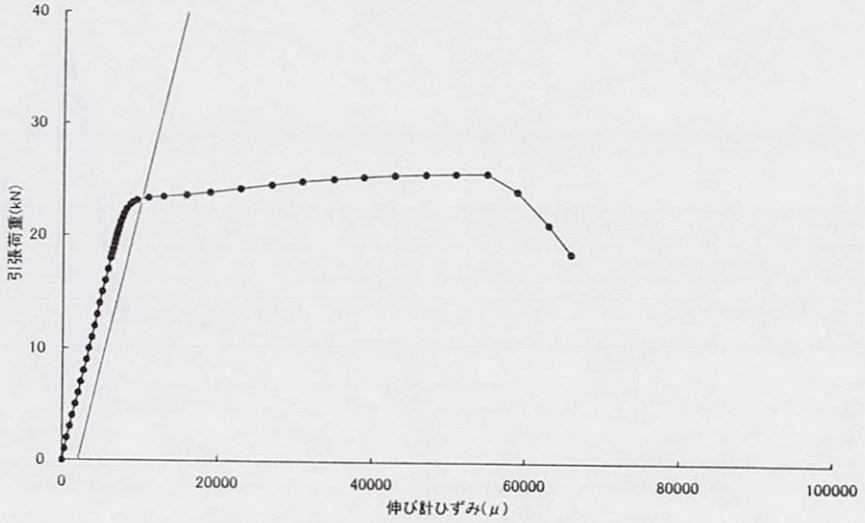
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R1-1



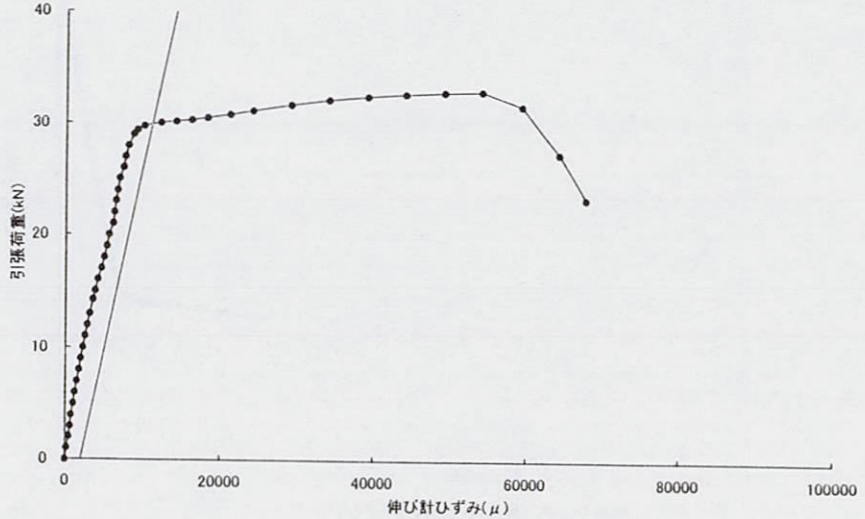
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R2-1



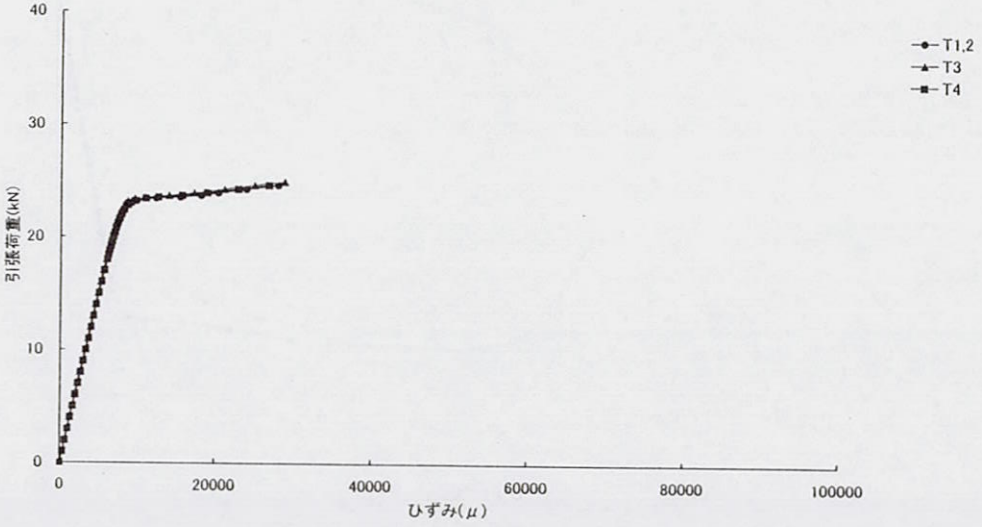
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R1-3



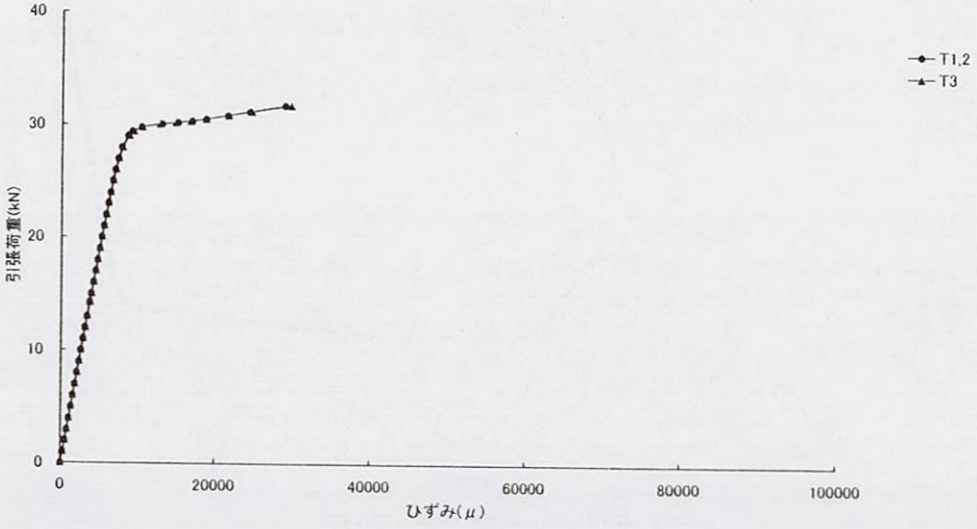
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R2-1



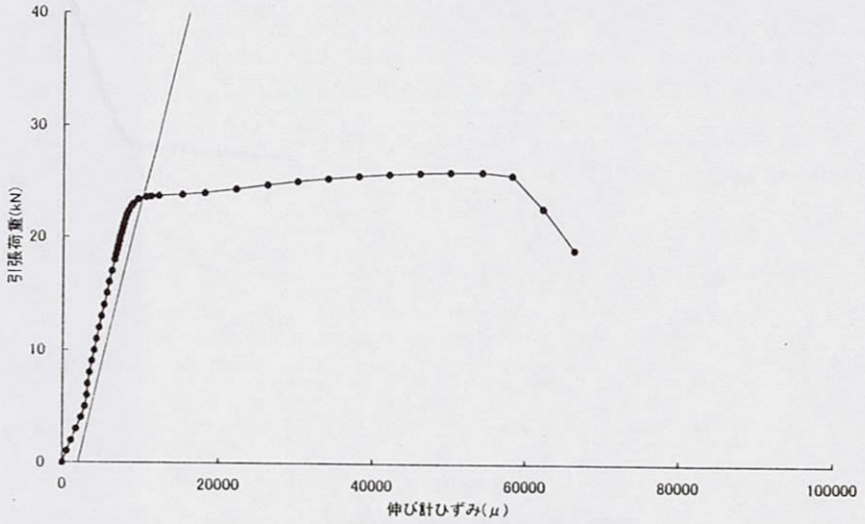
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R1-3



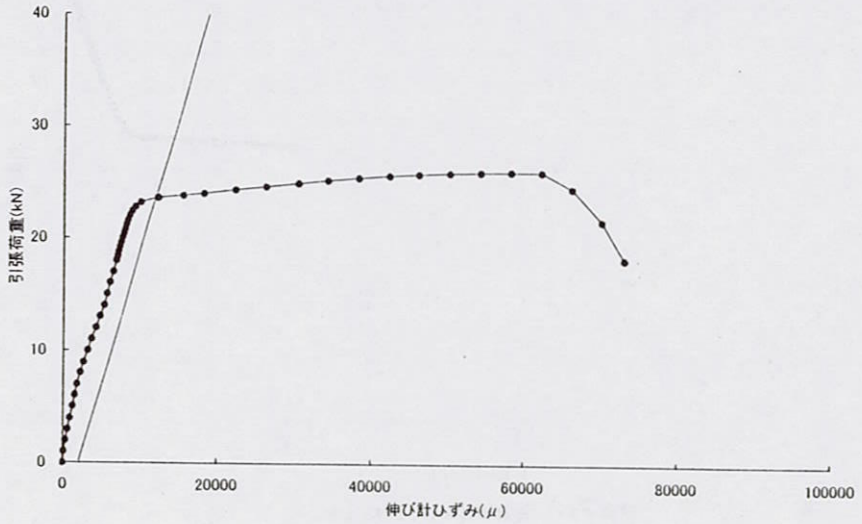
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R2-3



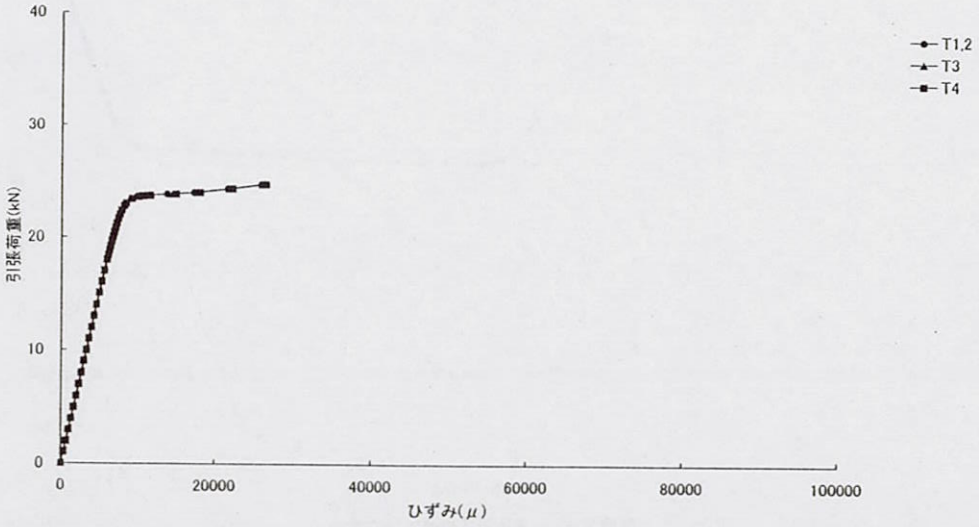
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R2-2



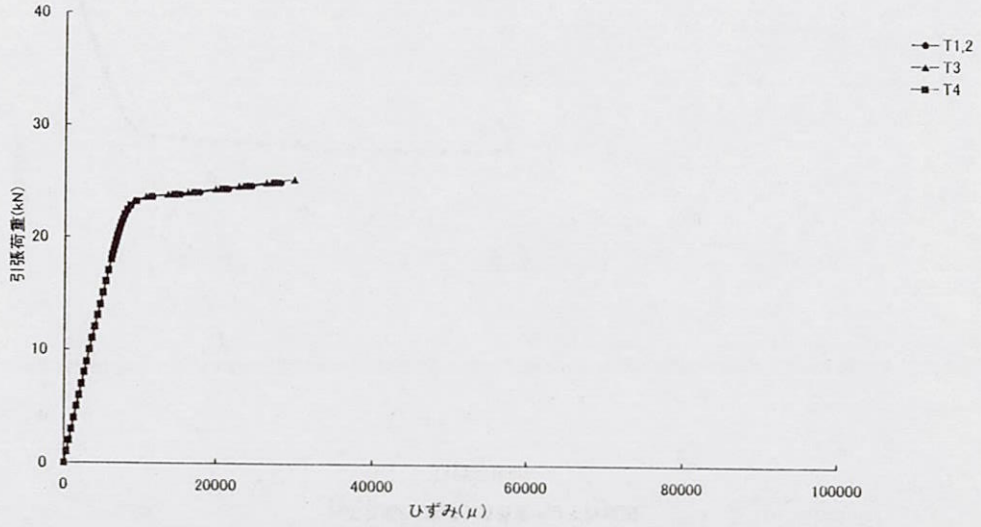
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R2-3



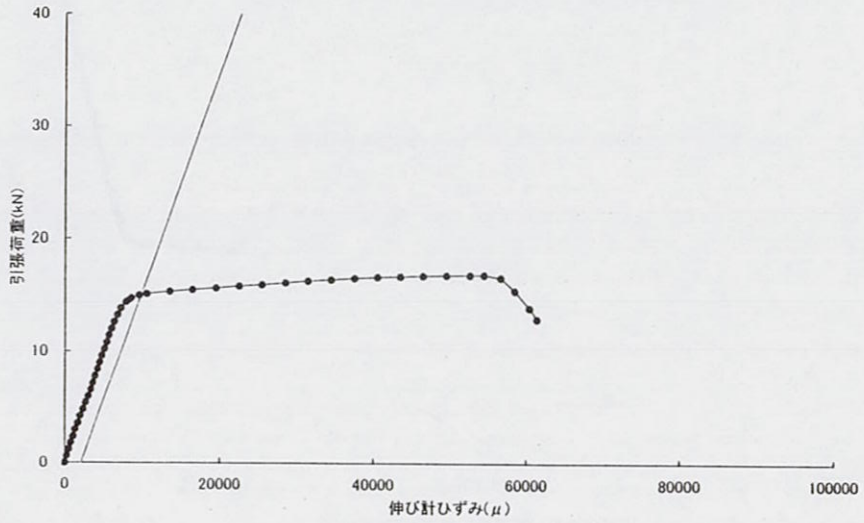
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R2-2



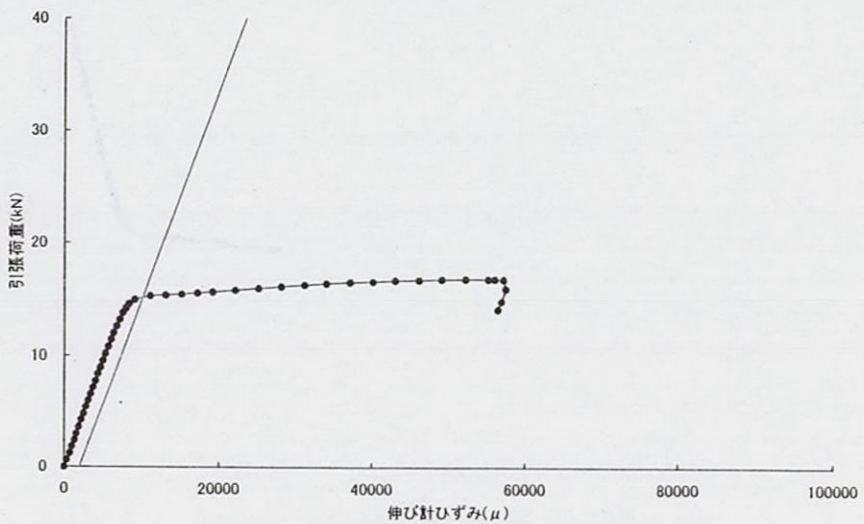
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R3-2



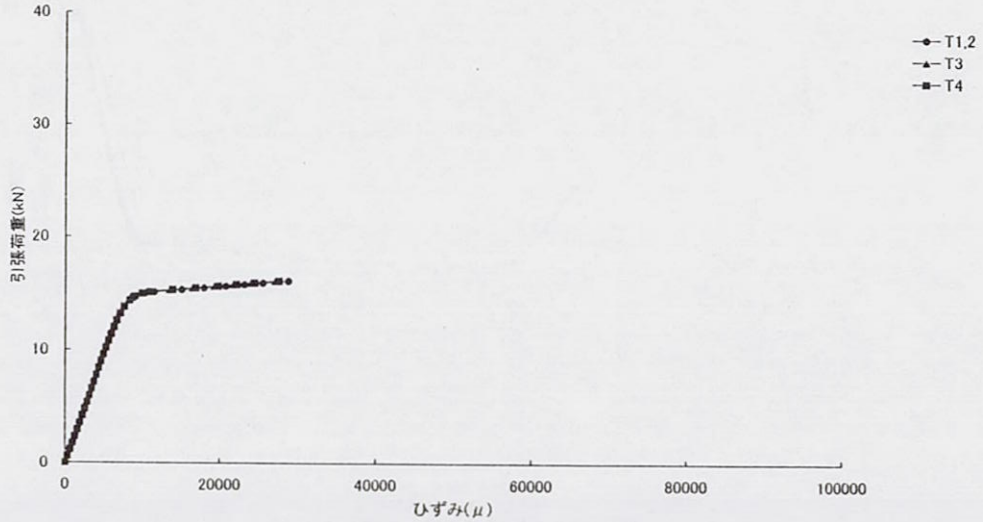
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R3-1



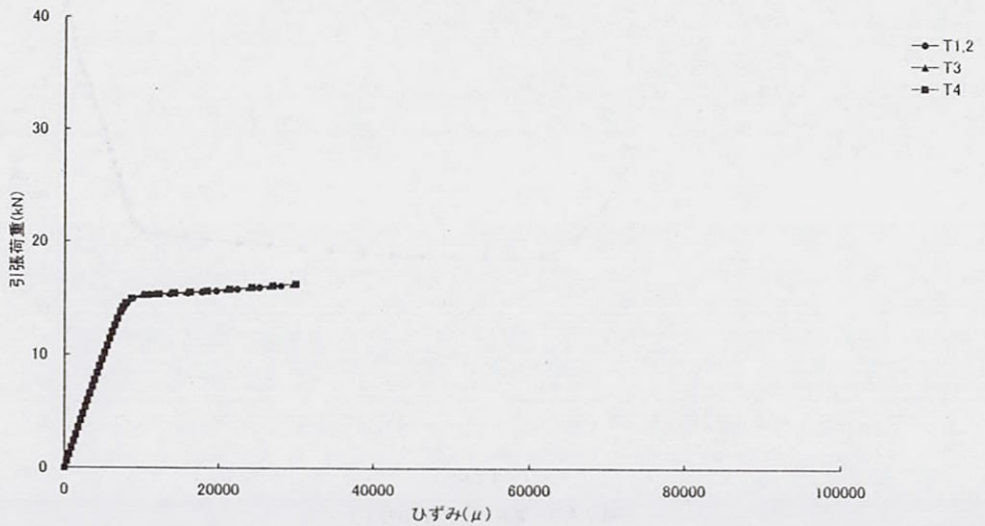
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R3-2



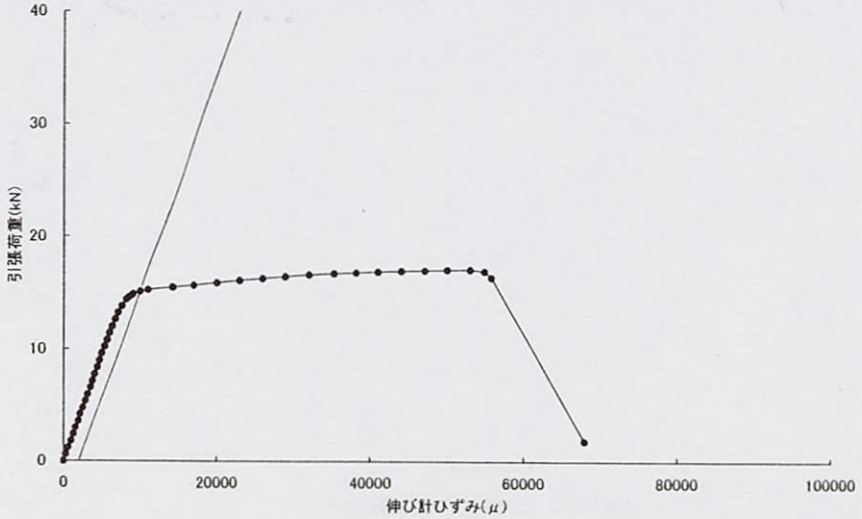
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R3-1



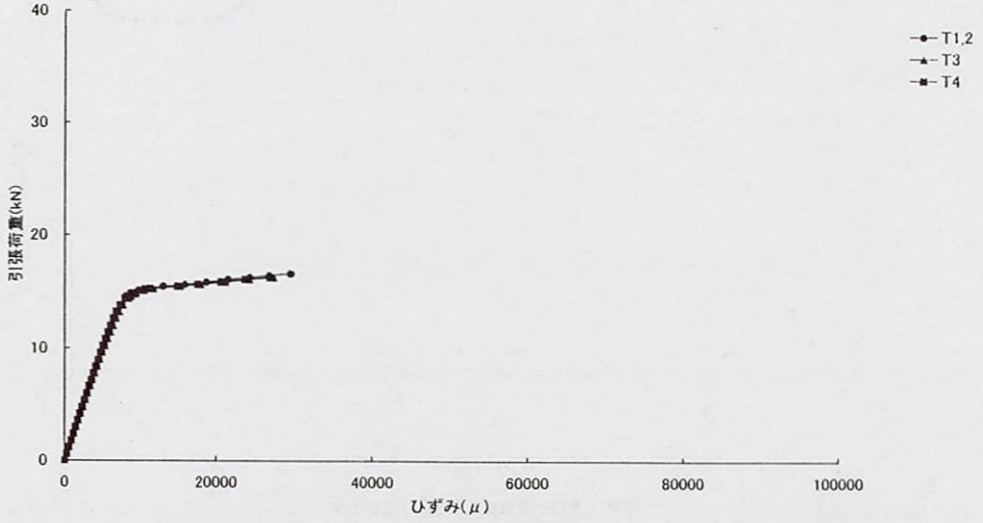
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R3-3



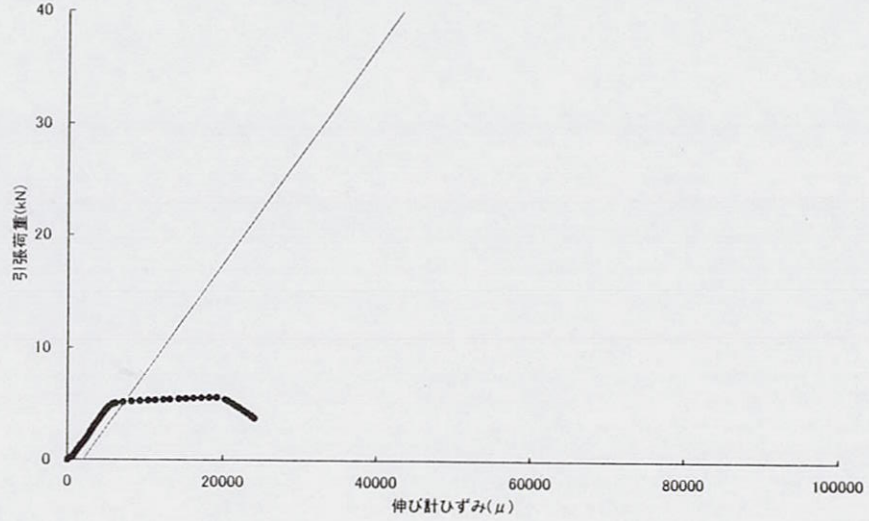
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE3-R3-3



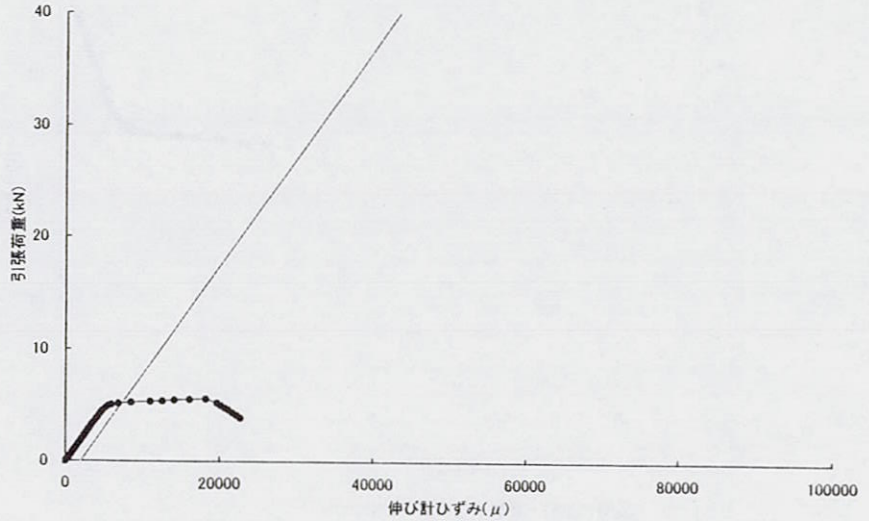
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ2-2



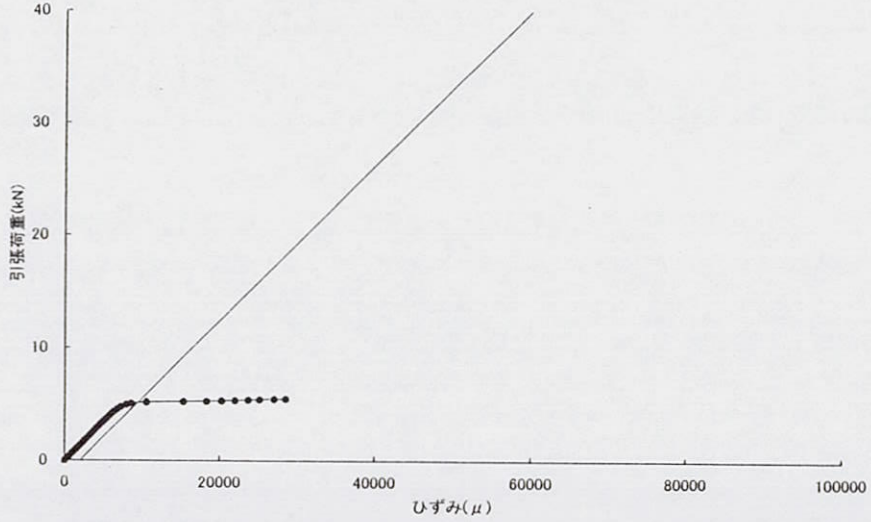
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ2-1



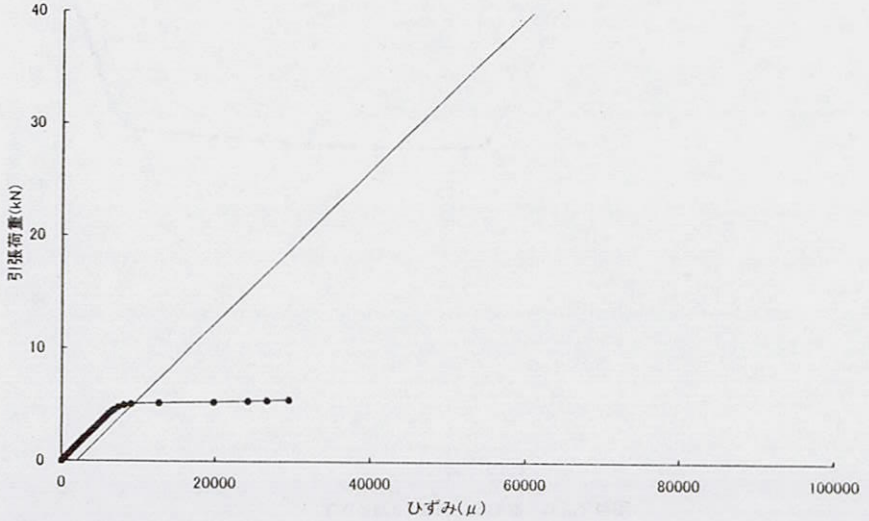
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ2-2



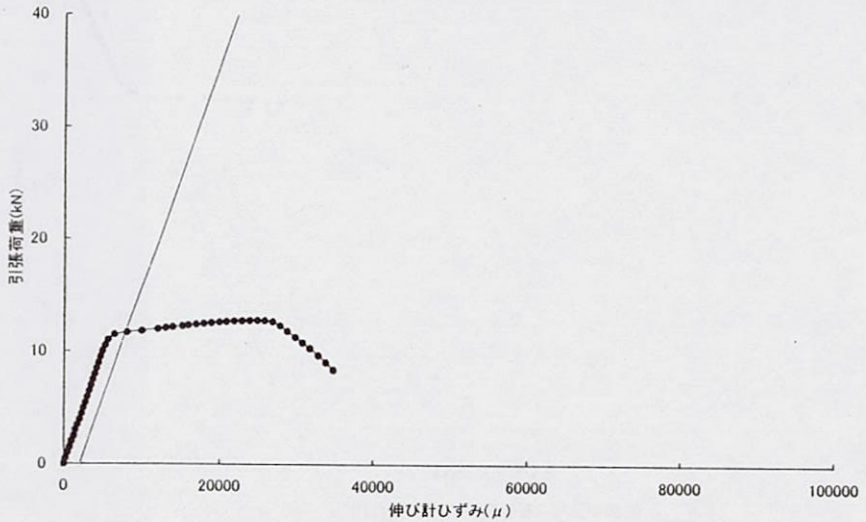
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ2-1



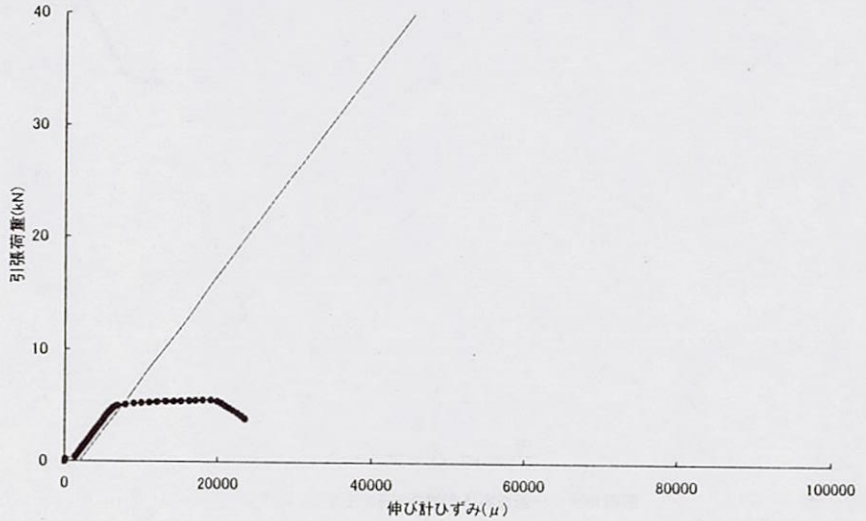
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ3-1



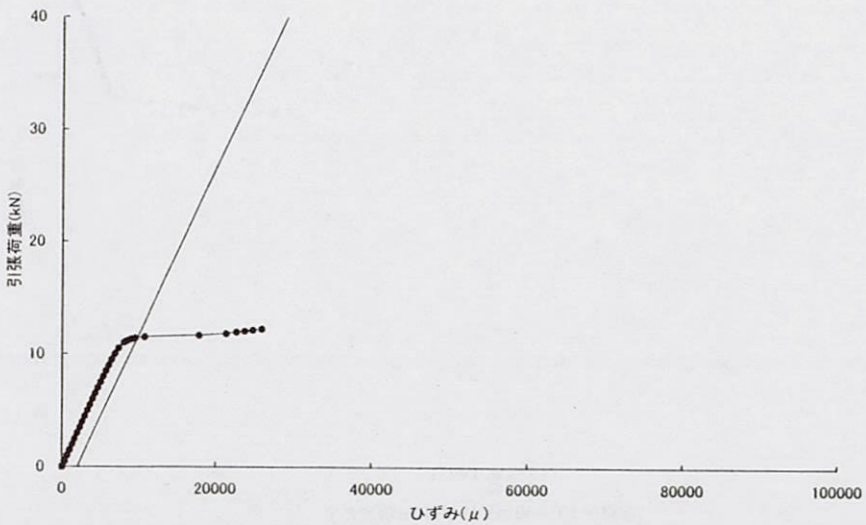
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ2-3



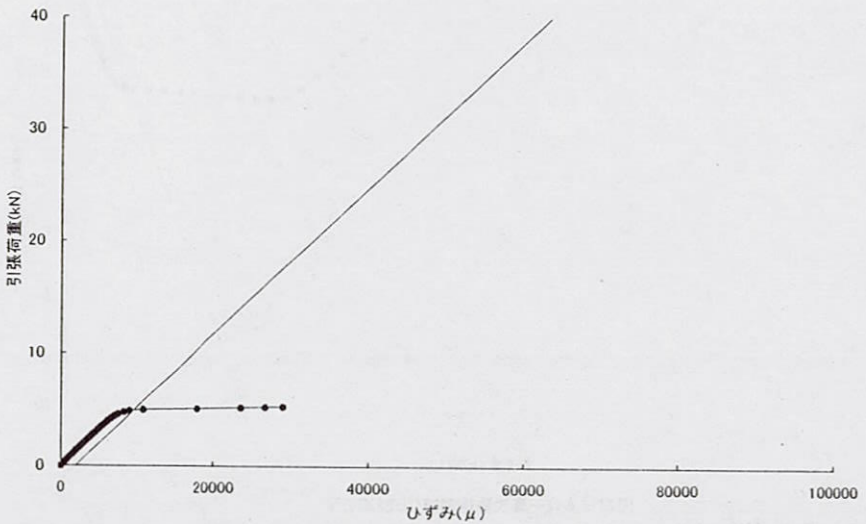
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ3-1



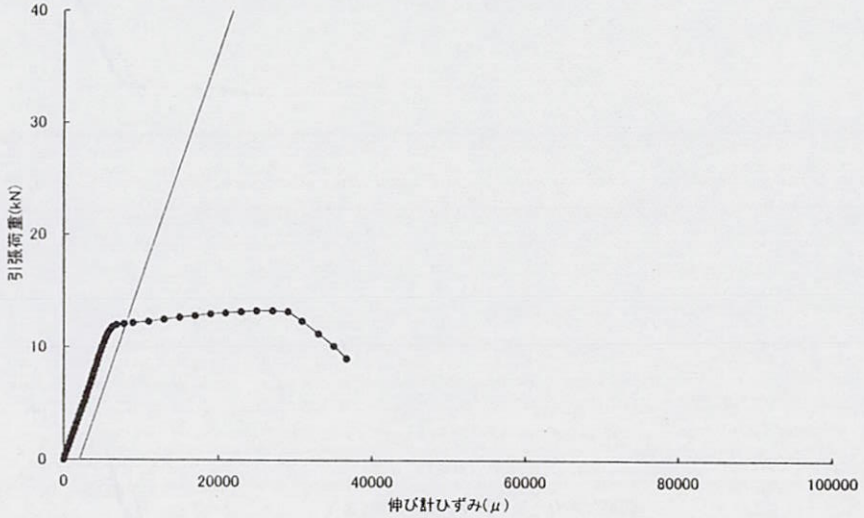
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ2-3



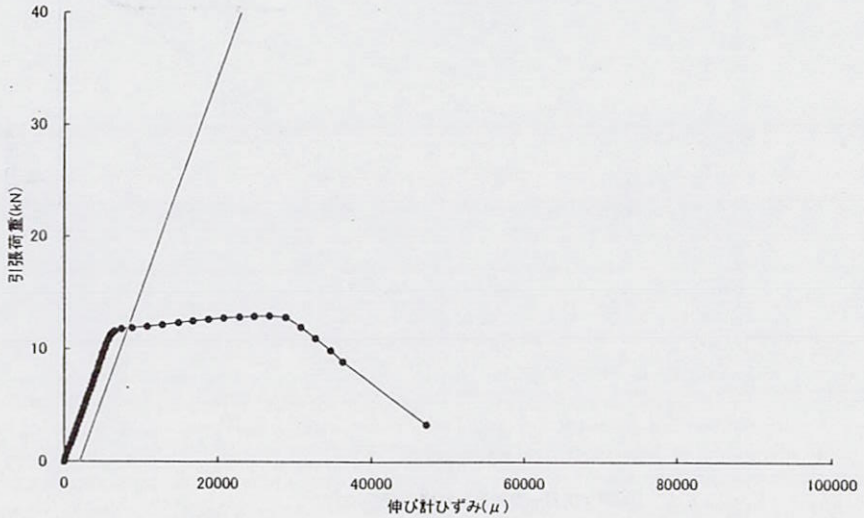
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ3-3



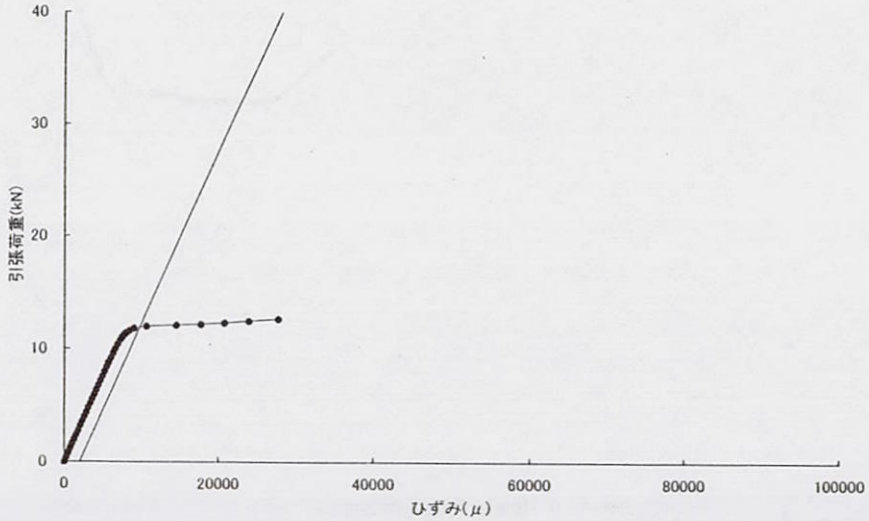
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ3-2



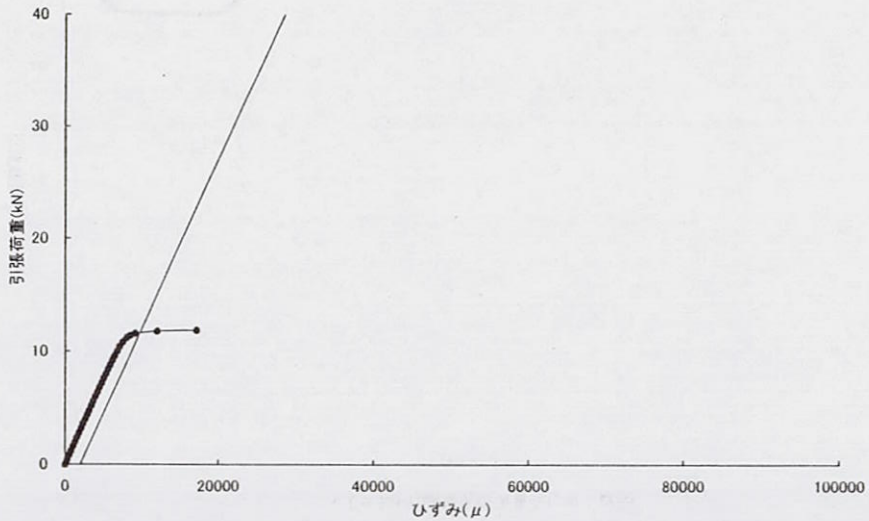
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ3-3



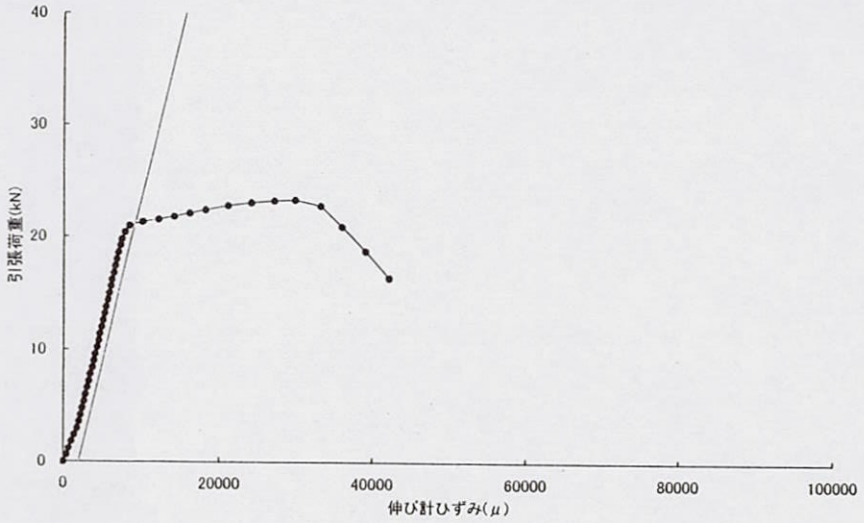
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ3-2



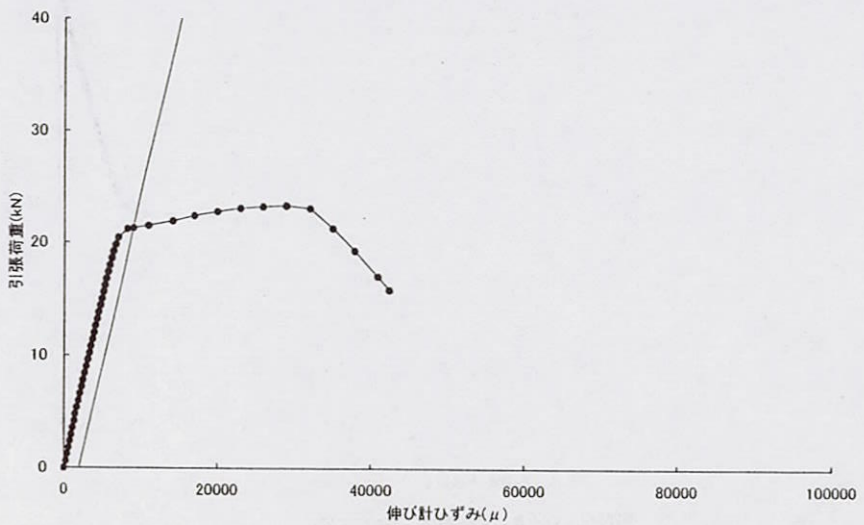
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ4-2



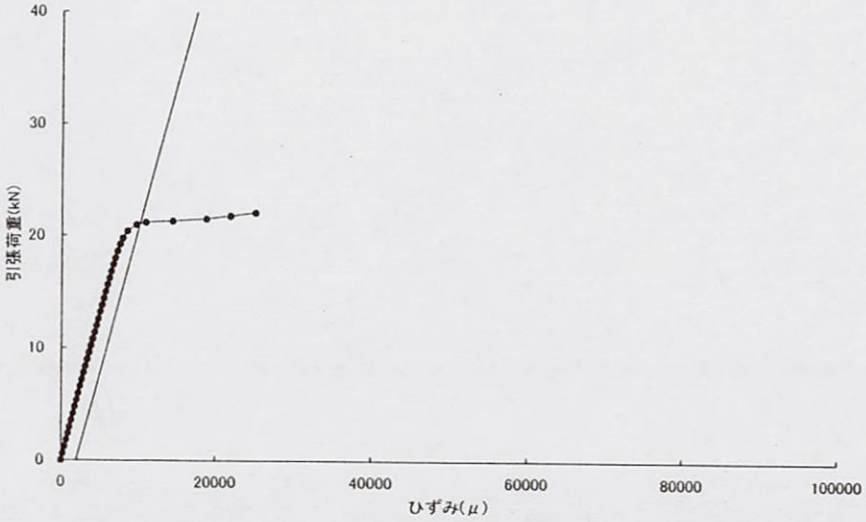
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ4-1



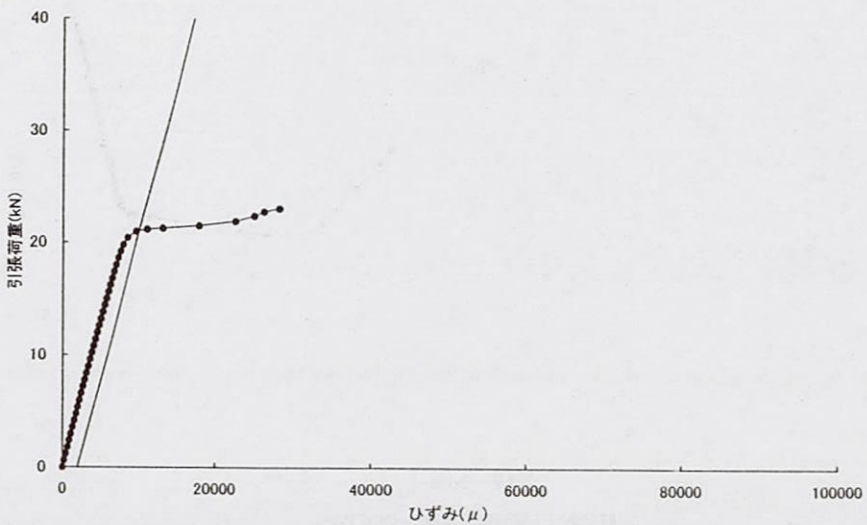
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ4-2



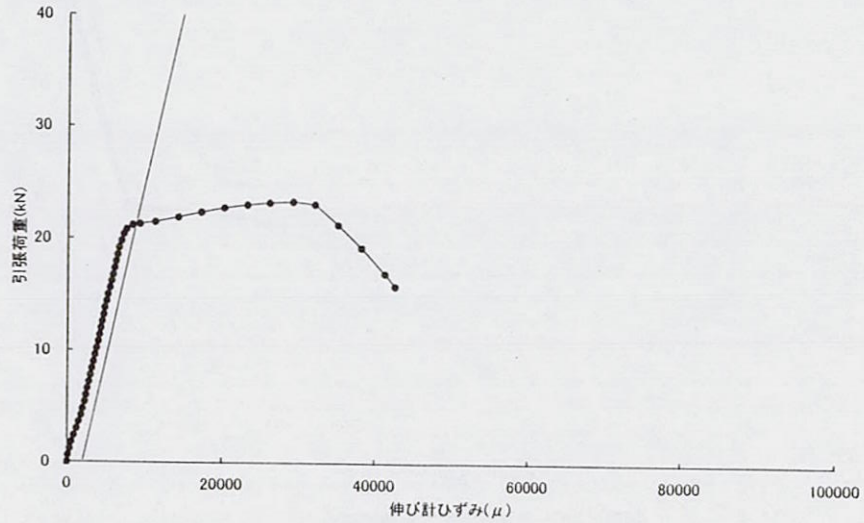
人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ4-1



人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ4-3



人工欠陥PC鋼線引張荷重ーひずみ線図

TYPE4-φ4-3

