

ファイバーダイン株式会社
布基礎の繊維補強実験
結果報告書

2011 年 2 月 26 日

日本工業大学
建築構造実験室

担当 高橋雅充・小早川隆夫

1. はじめに 高強度繊維シート貼付工法が、土木・建築・住宅の耐震補強等に供用されて久しく、高架橋梁・RC建築物等で、基礎への構造補強を行わずに破壊靱性を付与する方式として評価され、事例を聞き及ぶことも多いようです。炭素繊維やアラミド繊維がそれらに使用されるのは、一般的知見として定着したといえます。

今般、それらに並ぶ性能を有し、環境負荷も少ないとされるバサルト繊維を、有筋・無筋が混在する木造住宅の布基礎部の耐震補強に用いて、アラミド繊維並みの補強効果を期待しうるか、御社からのご要請を受けて、以下の比較実験を企画・実施し、若干の知見を得られましたので、報告いたします。

2. 計画の前に 住宅布基礎は支える地盤の強弱、建物規模等によって、無筋が許されており、床下換気のため換気開口(時には改め口も)が設けられることが少なくありません。また、配筋されるとしても旧い例の中には、定着の不十分なものも散見されました。布基礎の立ち上がりが小さく、杜撰なコンクリート工事もあってか、長期荷重で壁頂にいたる亀裂の見えるものも目に付きます。

これらを実験計画として取り込んで、バサルト・アラミド両繊維シートを用いた、ご要請の比較実験を次のように計画しました。

3. 試験体計画 試験体は、逆T字断面布基礎の底盤部を取り除いた基礎梁のみとして、形状はスパン中央に換気開口(□-100×300)300cm²を有する開口タイプ:Kと通直タイプ:Tの2種類で、幅をb=120mm、せいはh=450mm、スパン l=1800mmとして梁長をL=2100mmとします。

これらが無筋:M・配筋:Hの設定で、無筋開口:MK, 配筋開口:HK, 無筋通直:MT, および配筋通直:HTの4通りの組合せとして、各2体、計8体を製作します。

4. 要因配置 繊維シート貼付について、貼付-非貼付、バサルト-アラミド繊維、片面-両面貼付なども要因にすると、実験計画法によらない限り試験体数が増えてしまいます。そこでバサルトを主体に、分り易いように1対比較をすることにしました。

無筋の開口:MK-では非貼付:-Nと両面バサルト貼:-2B、無筋通直:MT-で夫々片面貼のバサルト:-1Bとアラミド:-1Aとして、配筋で通直の:HT-で非貼付:-Nと両面バサルト貼:-2B、配筋開口の:HK-では夫々片面貼のバサルト:-1Bとアラミド:-1Aとします。試験体記号では順に、MKN, MK2B, MT1B, MT1A、及び HTN, HT2B, HK1B, HK1A となります(表1)。下線の2体ずつの1対比較で、4組の実験結果を直接検討することが出来ます。

表 1 試験体計画

	要 因 設 定		
配筋	M：無筋	H：配筋	全てにワイヤーメッシュをいれた。
開口部	T：通直	K：開口	
貼り方	1：片面	2：両面	引張端貼付
繊維	N：非貼付	B：バサルト	A：アラミド
試験体名 (1は無筋, 開口, 非貼付)			
1：MKN	2：HTN	3：MT1A	4：MT1B
5：HK1A	6：HK1B	7：MK2B	8：HT2B

5. 試験体製作 無筋基礎を実験対象としているので、8 体全てにワイヤーメッシュを入れて、万一の破壊安全を期する設定です。曲げ補強とならないように、ワイヤーメッシュの水平部は 1 グリッド置きに上下千鳥に切断します。実験終了後の廃棄物搬送を考えても、必須の設定です(図 1～4)。(ワイヤーメッシュ: $\phi 2.6 \times 100^2$ -0.45m $\times$ 2m)

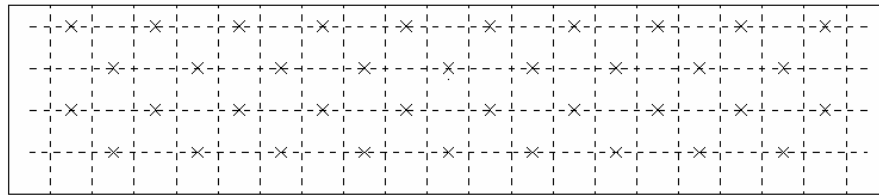


図 1 無筋直通 (試験体名：MT1B・MT1A)

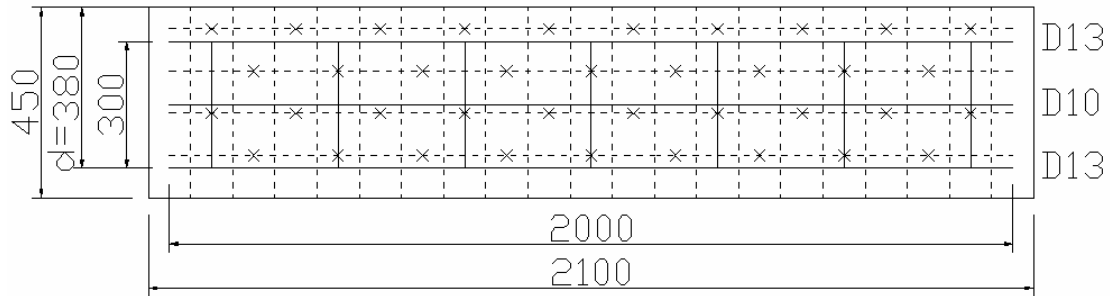


図 2 配筋直通 (試験体名：HTN・HT2B)

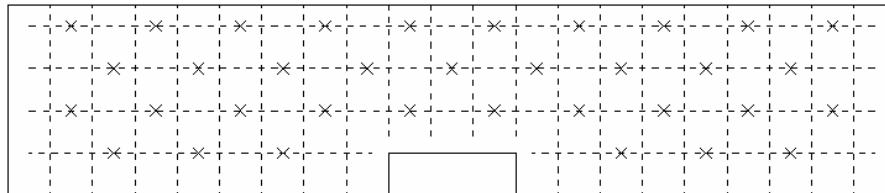


図 3 無筋開口 (試験体名：MKN・MK2B)

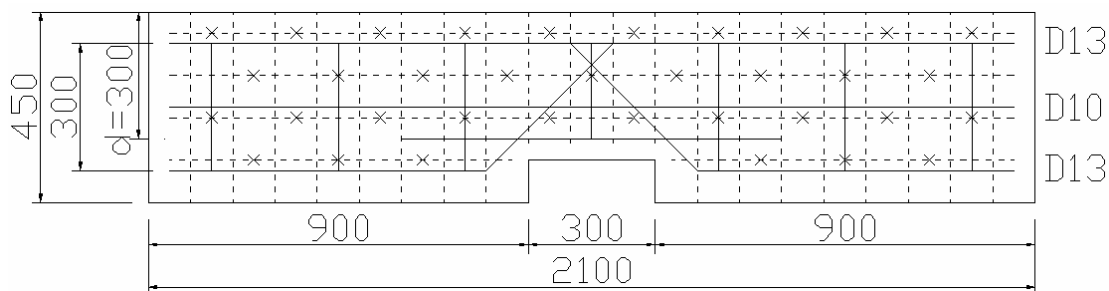


図4 配筋開口（試験体名：HK1N・HK1A）

倒立加力のため、開口の下部の開口補強はその真上としている。

図中の×の記号はワイヤーマッシュが曲げ補強にならないよう一画ごとに切断する位置。

開口設定は型枠下部に開口容積の箱を沈めることとして、底板に釘止めとします。

型枠は、養生期間中の型枠材の吸水を極力抑えるため、剥離性に加えて非吸水性を謳うNFボードを堰板に用い、パネコート仕上げ面を外枠・底板の内向きに使う設定です。底板及び型枠端部は試験体幅のパネコートを重ねて、堰板保持の溝を構成させ、堰板両端と底辺を差込んで安定させました(図5)。

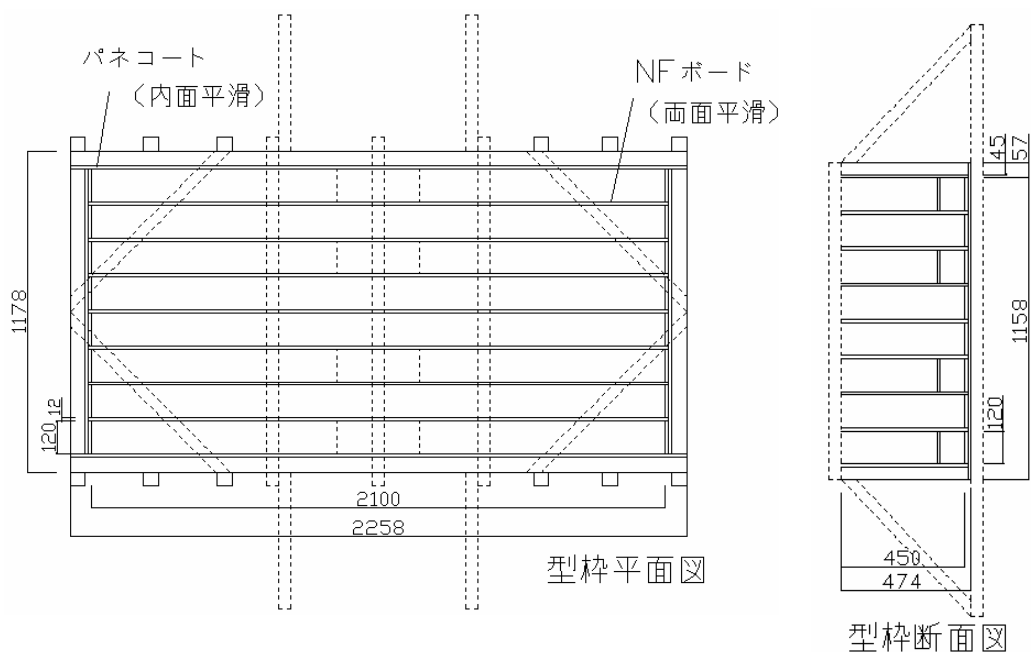


図5 型枠の詳細図

主筋・開口補強筋は SD295A-D13,他は同じく D10 としてフックはとらない設定とし、ワイヤーメッシュにステンレス結束線でとめつけ、φ 115 の樹脂スペーサーを数箇所配して、型枠内に自立させました。バイブレータが操作しにくい狭さとなり、打設時突きならしは突き棒で行いました(写真 1)。



写真 1 型枠内配筋

調合強度 18N/mm^2 、スランプ 18cm で指定の生コン 1.5m^3 を残部は持帰りで打設し、3 度行ったスランプ試験は平均 18.5cm でした。この間 φ -100×200 シリンダで 24 本、□-100×100×500 角棒を 12 本、素材試験用に採取し、全ての打設上面をこて仕上げとし、上にラップやポリシートを密着させ、水中養生は行わない設定としました。

補強繊維シート接着のためのエポキシ樹脂は、ファイバーダイン(株)製、無溶剤型エポキシ樹脂「PE-10G II」を、およそ 1.6kg/m^2 程度使用して貼り付けました。また、あらかじめコンクリート下地のプライマー処理用として、同じくファイバーダイン(株)製、溶剤型プライマー「PS-10G」を、 250g/m^2 程度使用しました。以下に、接着用樹脂の詳細を示します。

●PE-10G II

1. 『性 状 』

項 目	タックダインPE-10G II	
外 観	主 剤 硬化剤 混合物	灰色液状 微黄色液状 灰色液状

配合比	主 剤 硬化剤	3 1
粘 度	主 剤 硬化剤 混合物	14, 000mPa・s 2, 000mPa・s 5, 500mPa・s
比 重	主 剤 硬化剤 混合物	1. 60 1. 05 1. 40
可使時間	50分（1kg混合時）	
硬化時間	16時間	

2.『物 性 』

項 目	強 さ	試 験 方 法
引 張 強 さ	23 N/mm ²	JIS K 7113
圧 縮 強 さ	80 N/mm ²	JIS K 7208
曲 げ 強 さ	50 N/mm ²	JIS K 7203
引張せん断接着強さ	15 N/mm ²	JIS K 6850
硬 さ	87 HDD	JIS K 7215
シャルピー 衝撃値	2. 4 N・mm/mm ²	JIS K 6911

※ 試験温度20℃ 接着強さは、鋼板と鋼板の接着時

● PS-10G

『性 状 』

項 目	主 剤	硬 化 剤	試験方法
主 成 分	エポキシ樹脂	変性ポリアミドアミン	————
外 観	灰色液状	淡褐色透明液状	————
配 合 比	主剤／硬化剤 3／1 （重量比）		————
粘 度(20℃)	1,500mPa・s （混合物）		JIS K 6833
比 重(20℃)	1. 55 （硬化塗膜）		JIS K 7112
可 使 時 間	8時間 （20℃ 1kg）		温度上昇法

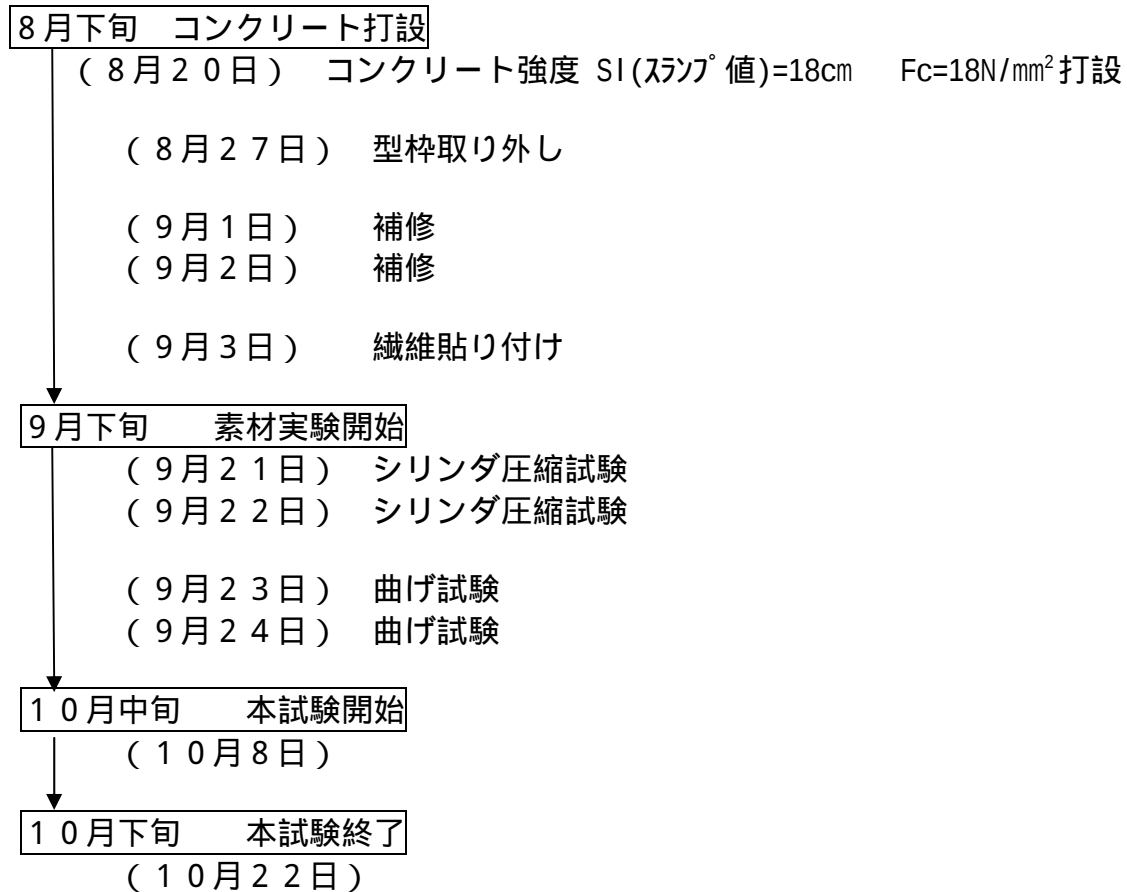
指触硬化時間	1時間 (20℃)	JIS K 5400
硬化時間	10時間 (20℃)	JIS K 5400
完全硬化時間	36時間 (20℃)	JIS K 5400

『 耐薬品性 』

試 験 液	濃度(%)	評価
水 道 水	——	○
食 塩 水	3	○
塩 酸	5	○
水酸化ナトリウム	5	○
ガソリン	——	○
軽油	——	○
灯油	——	○
中性洗剤	——	○

試験方法：JIS K 5400に準ずる

6. 試験の準備 打設後 1 週で脱型して室内養生に移行、繊維シート貼付の直前 2 日間に、本試験体の一部に見られたジャンカの補修を行い、打設 2 週間後に繊維シート貼付を、前述の試験体計画に沿って御社佐藤氏の手で行いました。



同日、シリンダ 8 本ずつ高さの中間の 15cm に、バサルト及びアラミド繊維シートを巻付け貼付し、更に角棒 2 本ずつの側面と下面の全面にバサルト及びアラミド繊維シート貼付も、繊維貼付効果確認用として、佐藤氏の手で行って頂きました。

シリンダ・角棒の非貼付の残部と、異形棒鋼D13 およびD10 各 3 本を、素材試験用に取りおきました。尚、シリンダ及び角棒は素材試験用、バサルト貼付用、アラミド貼付用に、予め密度順に公平となるよう振り分けて試験に供する計画としました。

7. 予備実験等 異形棒鋼の引張試験の結果を表 2 に示しました。SD295A・JIS規格を満たしています。

表 2 鉄筋引張試験結果

	最大荷重	引張強度	降伏点荷重	降伏点強度	破断伸び
	Kg	N/mm ²	kg	N/mm ²	%
D10-1	3620	497.35	2590	355.84	28.4
D10-2	3620	497.35	2490	342.12	26.4
D10-3	3630	498.75	2590	355.84	32.0
平均	3623	497.82	2557	351.27	28.9
D13-1	6190	478.83	4330	334.95	27.6
D13-2	6180	477.95	4340	335.65	30.9
D13-3	6170	477.26	4390	339.57	31.1
平均	6180	478.01	4353	336.72	29.9
JIS 規格値		440 ~ 600		295 以上	16 以上

引張強度と降伏点強度は、異形鉄筋の公称断面積を使用し、算出した。

$$\text{破断伸び}(\delta) = (\ell - \ell_0) / \ell_0 \times 100 (\%)$$

ℓ_0 : 標点間距離 (mm)

ℓ : 実験後の標点間距離 (mm)

シリンダの圧縮試験の状況(図 6、写真 2)と結果(表 3)を示します。圧縮強度は指定強度の 1.5 倍程度、 27.46N/mm^2 でした。図 7 に S 字を描く圧縮応力度(圧縮力/シリンダ断面積)-換算歪度(圧縮縮み/シリンダ高さ)関係を並べて示します。

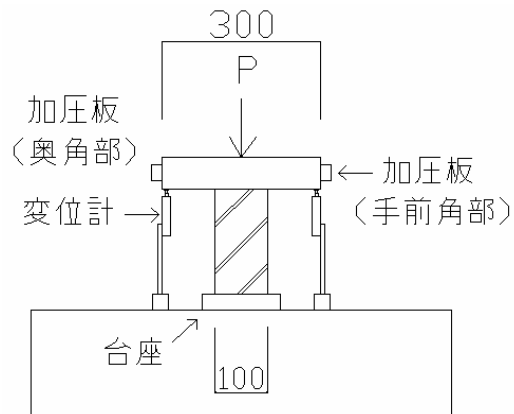


図 6 圧縮試験設置図



写真 2 圧縮試験前写真

表 3 非貼付圧縮試験結果

非貼付					
試験体番号	最大強度	断面積	圧縮強度	単位容積重量	ヤング係数試算値
	N	mm^2	N/mm^2	g/cm^3	10^5kg/cm^2
1	212170	7893	26.88	2.245	3.008
6	215600	7901	27.29	2.224	2.940
7	210945	7901	26.70	2.224	2.940
12	221725	7901	28.06	2.234	2.974
13	217805	7901	27.57	2.231	2.940
18	216237	7901	27.37	2.225	2.940
19	216580	7901	27.41	2.221	2.940
24	223930	7893	28.37	2.221	2.940
平均	216874	7899	27.46	2.228	2.940

圧縮非貼付-全8体

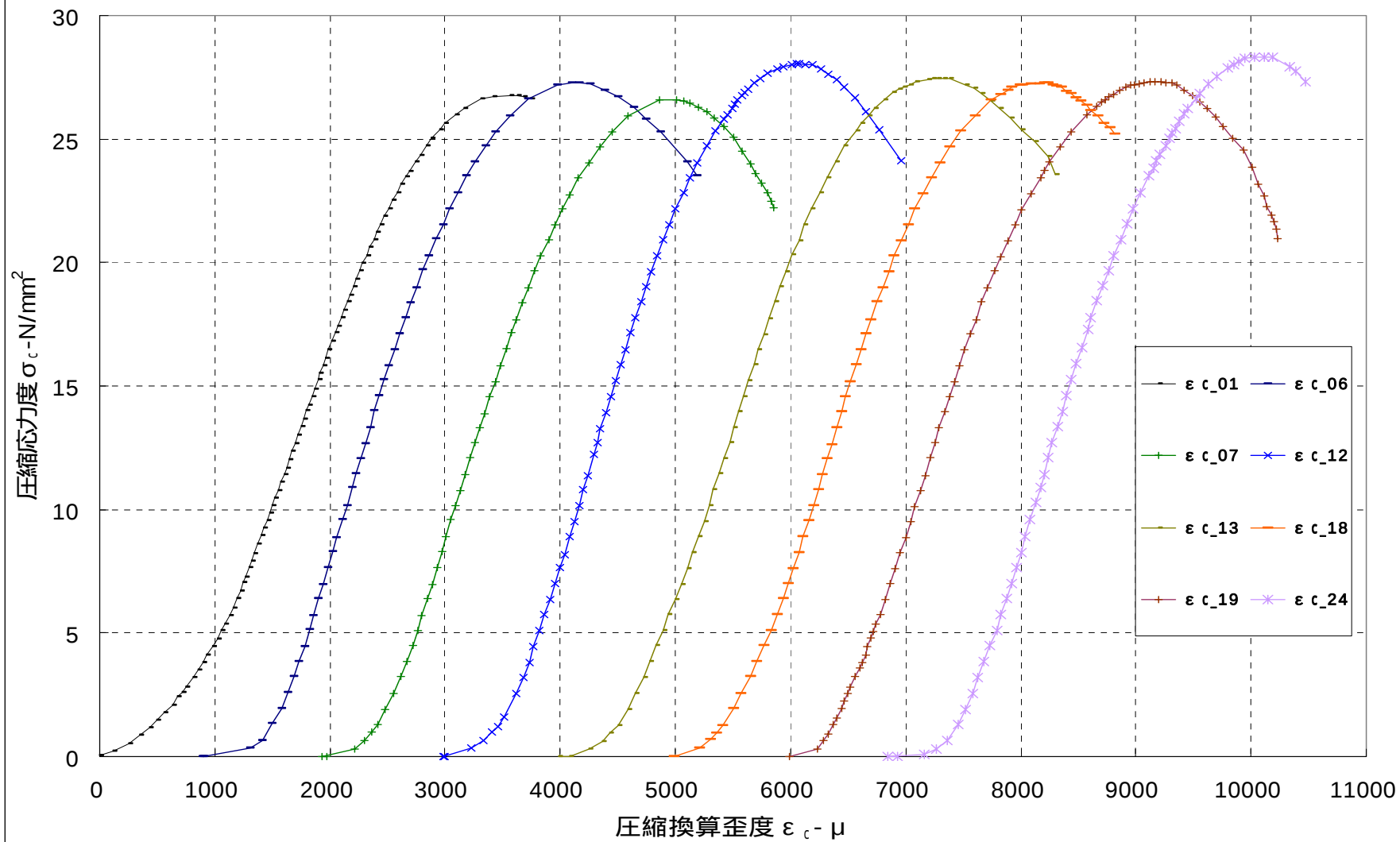


図7 非貼付 強度 - 歪度関係

角棒の曲げ試験は、図 8、写真 3 に示すように行い、表 4 上段の結果でした。曲げ強度は圧縮強度の 1/6.3 程、 4.35N/mm^2 の結果でした。破壊パターンはシート剥離と繊維破断でした。

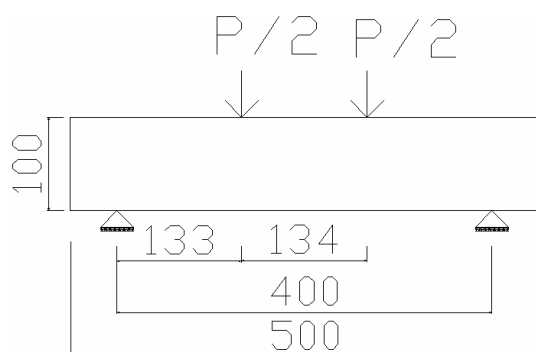


図 8 曲げ試験体載荷寸法

写真 3 曲げ試験前写真

表 4 曲げ試験結果

M/Z シート無視

		試験体番号	Z	最大荷重	Mmax	曲げ強度	破断状況
			(mm³)	(N)	(Nmm)	(N/mm²)	
非貼付		1	176868	13230	882000	4.99	
		2	179482				
		11	173417	9859	657253	3.79	
		12	176001	11319	754600	4.29	
		平均	176442	11469	764618	4.35	
バサルト繊維	下面貼り	3	176868	31115	2074333	11.73	シート剥離
		9	173421	26362	1757467	10.13	繊維破断
		平均	175145	28739	1915900	10.93	
	側面貼り	4	173417	11564	770933	4.45	シート剥離
		10	174280	9408	627200	3.60	シート剥離
		平均	173848	10486	699067	4.02	
アラミド繊維	下面貼り	6	176001	34006	2267067	12.88	シート剥離
		8	170021	19404	1293600	7.61	シート剥離
		平均	173011	26705	1780333	10.24	
	側面貼り	5	176001	10780	718667	4.08	シート剥離
		7	174280	10486	699067	4.01	シート剥離
		平均	175140	10633	708867	4.05	

バサルト繊維貼付シリンダの圧縮試験結果は、表-5 の通りで、繊維を無視した圧縮強度は 26.99N/mm^2 で、非貼付の 0.98 倍と若干低めの結果で、圧縮縮みは非貼付の 4 倍ほどと大きく、繊維破断で破砕のようなコンクリート圧壊(写真 4)でした。図 9 に軟鋼の降伏棚のような応力度-換算歪度関係を示します。

表 5 バサルト繊維貼付試験結果

バサルト繊維					
試験体番号	最大強度	断面積	圧縮強度	単位容積重量	ヤング率試算値
	N	mm^2	N/mm^2	g/cm^3	10^5kg/cm^2
2	209230	7897	26.49	2.209	2.901
4	222950	7897	28.23	2.251	3.008
8	211190	7897	26.74	2.216	2.906
10	213640	7897	27.05	2.221	2.940
14	208740	7897	26.43	2.230	2.940
16	219520	7897	27.80	2.216	2.906
20	207760	7897	26.31	2.231	2.940
22	212170	7897	26.87	2.219	2.906
平均	213150	7897	26.99	2.224	2.940



写真 4 バサルト繊維破壊状況 (繊維破断・圧壊)

圧縮バ'サル貼-全8体

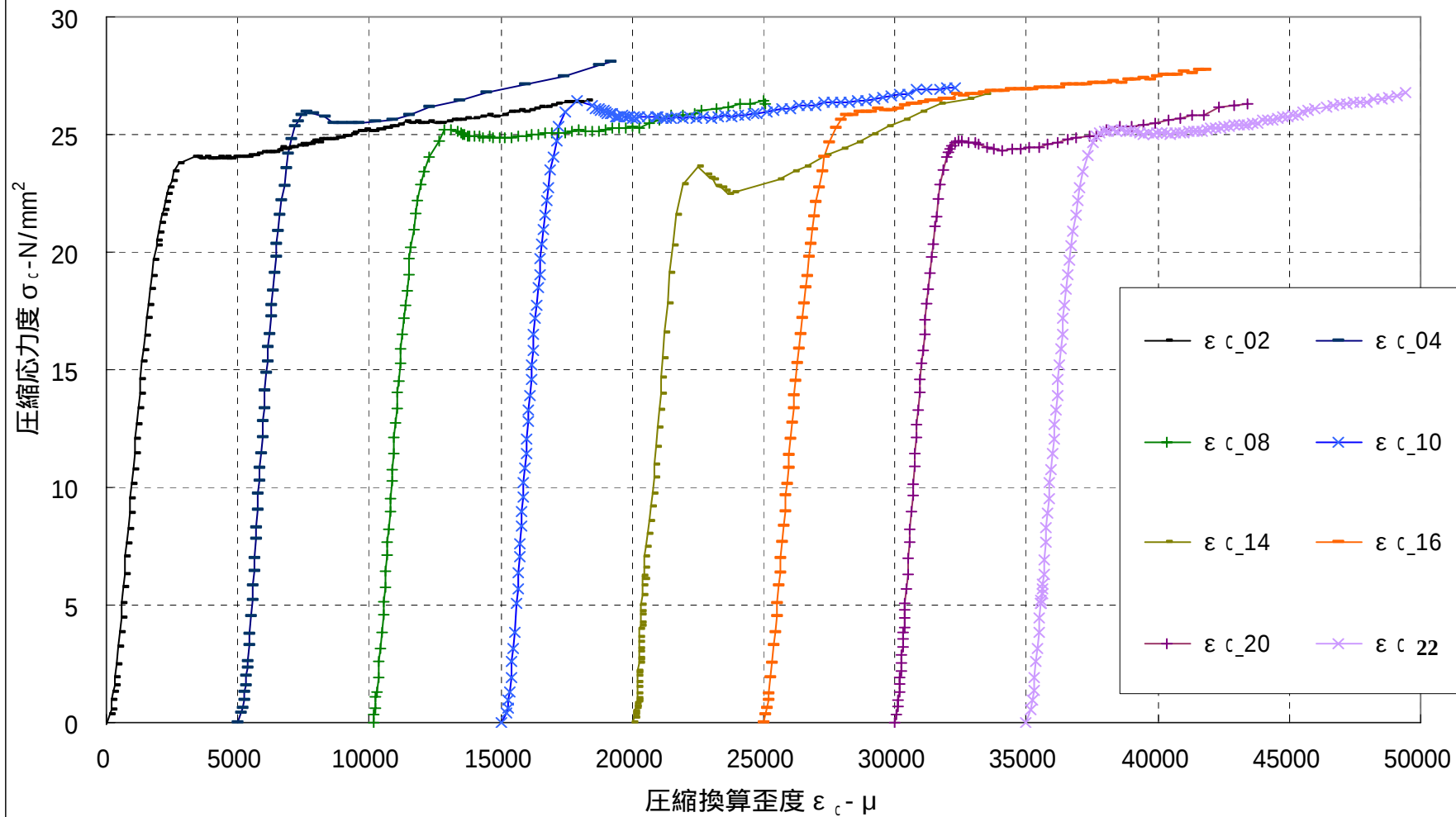


図9 バサルト繊維 強度 - 歪度関係

アラミド繊維貼付シリンダの圧縮試験結果は、表 6 の通りで、繊維を無視した圧縮強度は 32.04 N/mm^2 、非貼付の 1.17 倍と高めの結果で、圧縮縮みは非貼付の 3 倍ほどとやや大きく、繊維重ね部剥離でコンクリートは圧壊(写真 5)でした。図 10 に歪硬化のような応力度-換算歪度関係を示します。

表 6 アラミド繊維貼付試験結果

アラミド繊維					
試験体番号	最大強度	断面積	圧縮強度	単位容積重量	ヤング率試算値
	N	mm^2	N/mm^2	g/cm^3	10^5kg/cm^2
3	252350	7897	31.96	2.233	2.974
5	250880	7897	31.77	2.228	2.940
9	253820	7897	32.14	2.236	2.974
11	261660	7897	33.13	2.215	2.906
15	267834	7897	33.92	2.228	2.940
17	230300	7897	29.16	2.217	2.906
21	258720	7897	32.76	2.220	2.940
23	248430	7897	31.46	2.195	2.871
平均	252999	7897	32.04	2.221	2.940



写真 5 アラミド繊維破壊状況 (重ね部から剥離圧壊)

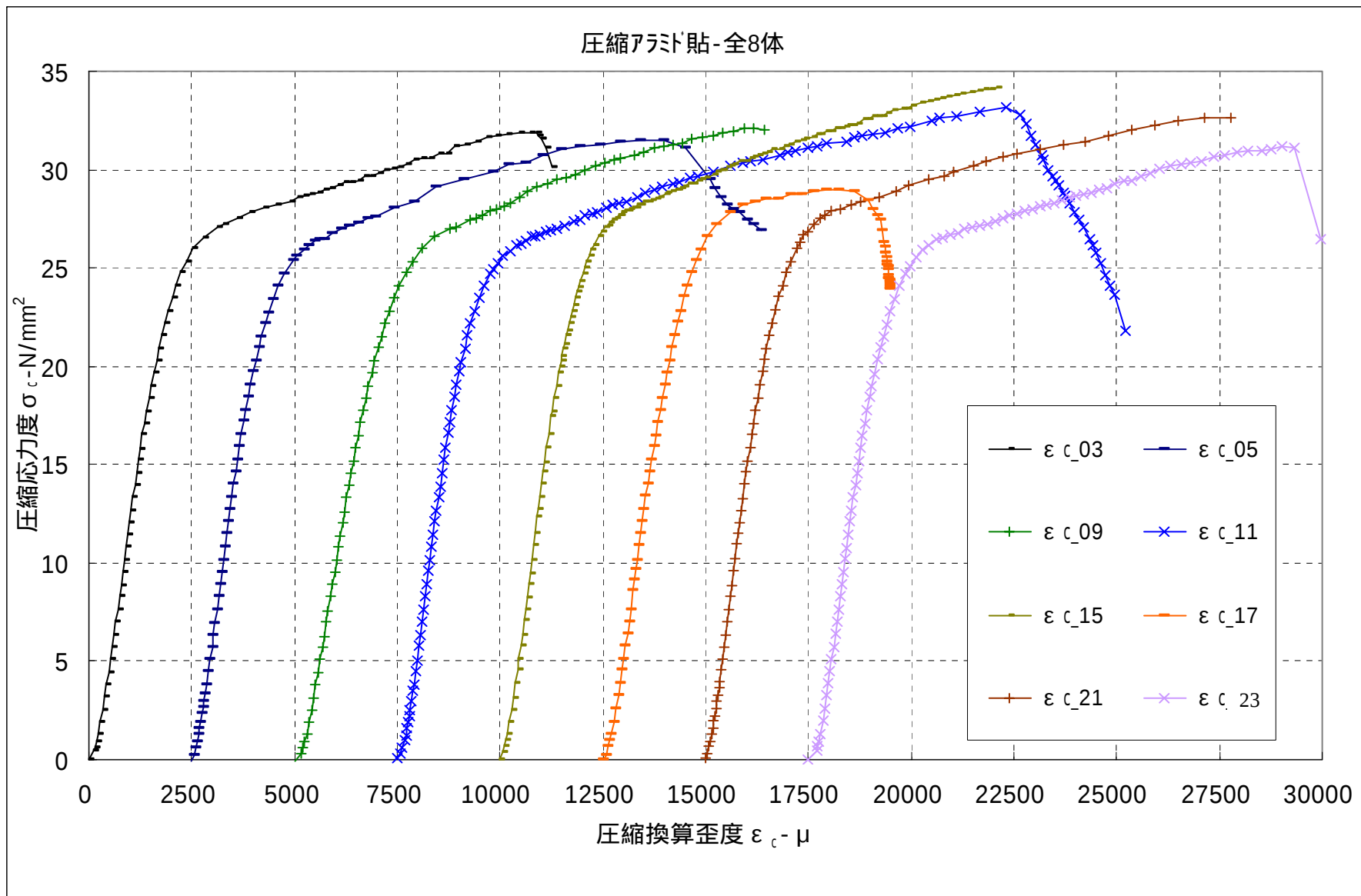


図 10 アラミド繊維 強度 - 歪度関係

バサルト繊維を下面貼付・側面貼付した角棒の曲げ試験は、表 4 中段の結果でした。繊維を無視した曲げ強度は上の順に 10.93 、 4.02N/mm^2 の結果で、破壊のパターンはシート剥離・繊維破断でした。

アラミド繊維を下面貼付・側面貼付した角棒の曲げ試験は、表 4 下段の結果でした。繊維を無視した曲げ強度は上の順で 10.24 、 4.05N/mm^2 の結果となり、破壊のパターンはシート剥離でした。下面貼付では亀裂分散効果が見られる結果でした。

8. 加力測定など 本実験は、スパン 1800mm 、両支点ローラー設定、球座加圧盤に載荷梁 $\text{H-}200^2 \times 8 \times 12$ を固定、3 等分点 2 点荷重をピン設定で加えます。加力点直下に水と 1:1 調合の石膏を流し、微小荷重で押えて硬化させ、滑らかな力伝達を期します。試験体両側面に予め、亀裂トレース用の 150mm グリッドを描いています。

変位計(CDP-50)は両加力点・中央点直下の表裏に配し、測端を試験体の両側面に貼付したアルミアングルに接触させています。試験機側からとる荷重出力と合わせて、データロガー(TDS-601)を介した監視の下に、荷重-変位関係を測定・記録しました (図 11, 12)。

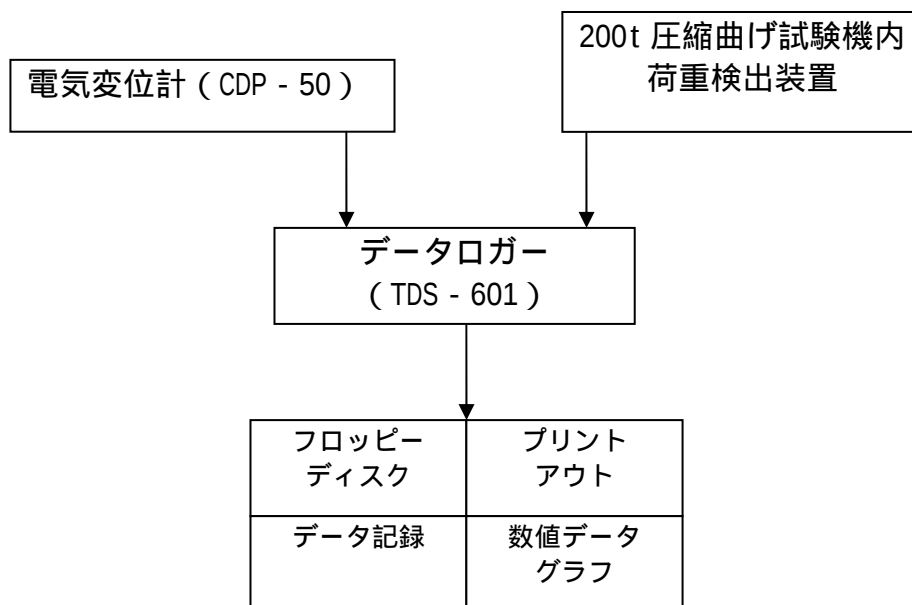


図 11 測定記録の流れ

試験順序は、無筋・配筋設定とも非貼付:-N からはじめ、最後に両面貼り:-2B を行うこととし、荷重・変位の増加や急変に備えました。

9. 実験結果 1 載荷当初から荷重変化に注目し、初亀裂・降伏・最大荷重の確認のため頻繁な測定・ウィンドウ監視を行い、試験体側面に現れ進展する亀裂を追って鉛筆でトレースし、荷重値記載を続けました。下から進む亀裂が試験体頂部に達し、折損或いは上端コンクリートの圧壊に至って、加力を中止します。

亀裂パターンの進展を写真とメモで(表 7～14)に示しています。



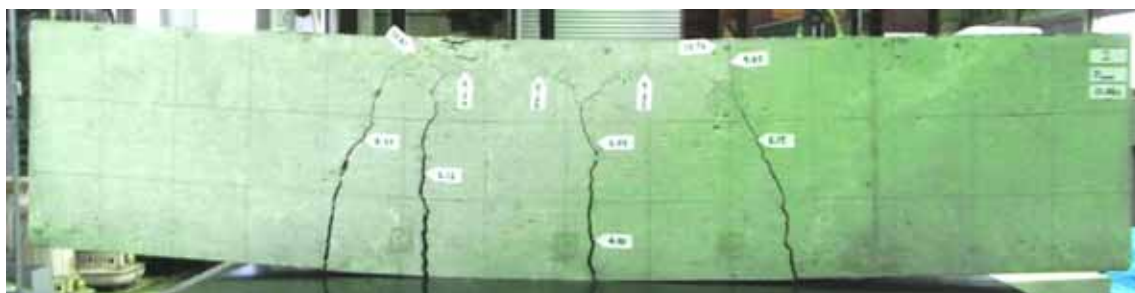
通路側 (北面)



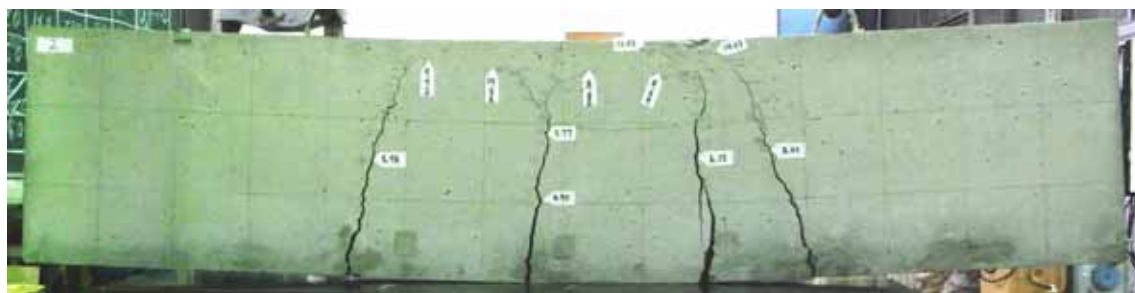
試験機側 (南面)

表 7 MKN 破壊状況

順番	破壊状況	荷重(t)
	開口底部から曲げスパン域にかけて、初亀裂発生	2.46
▼	最大荷重に達したのちに分断を避け、実験終了	2.49
		Pmax = 2.49t



通路側



試験機側

表 8 HTN 破壊状況

順番	破壊状況	荷重(t)
	変位計 D3 の右下・D4 の左下、曲げスパン域で初亀裂発生	4.90
	D3 右下から亀裂進展	5.77
	D2 の左下、左せん断スパン域で亀裂発生	5.78
	D4 左下から亀裂進展	6.03
	D5 右上・D6 左上、曲げスパン域で亀裂発生	6.12
	D1 右上、右せん断スパン域で亀裂発生	6.15
	D5 の左上、左せん断スパン域で亀裂発生	8.39
	D6 左上から亀裂進展	
	D6 右上、右せん断スパン域で亀裂発生	8.43
	から亀裂進展	8.86
	D5 右上から亀裂進展	9.24
	から亀裂進展	9.26
	から亀裂進展	9.72
	・ から亀裂進展	9.85
	から亀裂進展	10.36
	の D6 右上からの亀裂進展	10.41
	の D1 右上から亀裂進展	10.76
	から亀裂進展し、その後、圧壊	11.03
		Pmax = 11.06t



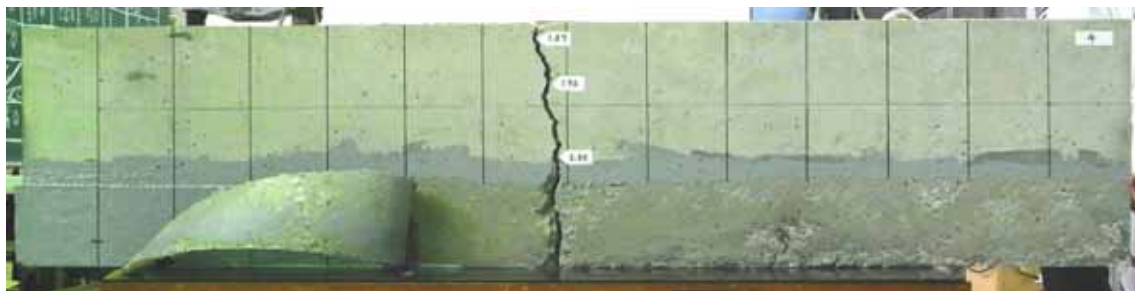
通路側



試験機側

表 9 MT1A 破壊状況

順番	破壊状況	荷重(t)
	D3 右上の曲げスパン域中央で初亀裂発生	2.67
	D4 左上、曲げスパン域で亀裂発生	2.82
	の亀裂進展	2.88
	・ の亀裂、試験体上部まで進展	3.01
▼	の亀裂、試験体下部まで進展 通路側左端から中央部かけて繊維剥離	3.70
Pmax = 4.20t		



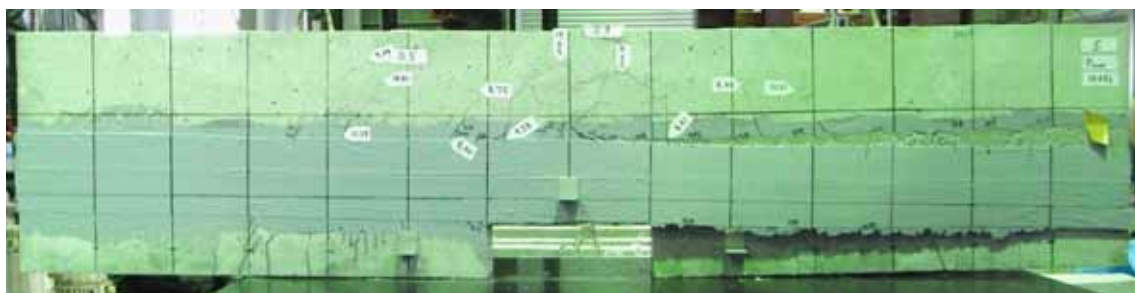
通路側



試験機側

表 10 MT1B 破壊状況

順番	破壊状況	荷重(t)
	D3 の上部、曲げスパン域中央で初亀裂発生	2.00
	D4 の上部、曲げスパン域で亀裂発生	2.13
	の亀裂、試験体下部に進展	2.53
	荷重低下後亀裂進展	1.96
▼	上部に向かって亀裂進展	1.67
▼	通路側右端から中央部にかけて繊維剥離	1.75
		Pmax = 3.80t



通路側



試験機側

表 11 HK1A 破壊状況

順番	破壊状況	荷重(t)
	D4 の右下開口隅部・開口内部、純曲げスパン域に 初亀裂発生	3.56
	繊維の上で新たに亀裂発生 の亀裂進展	8.40
		8.41
		8.88
	終局近くに繊維の上側のせん断スパン域から 新たに亀裂発生 通路側右端から中央部にかけて繊維剥離	9.58
		10.29
		Pmax = 10.60t

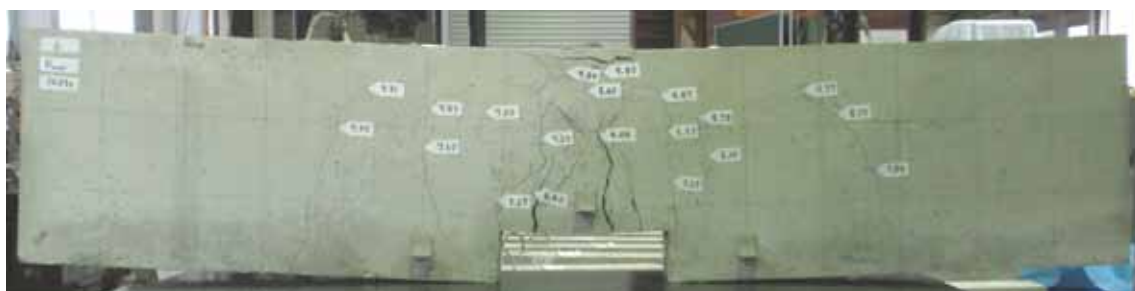
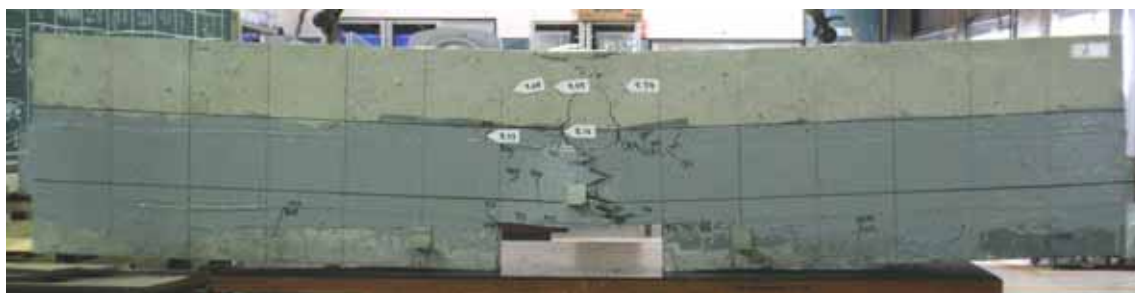


表 12 HK1B 破壞狀況

順番	破壊状況	荷重 (t)
	D6 の左上・D4 の左の開口角部・開口内部、 純曲げスパン域で初亀裂発生	3.25
	D4 の左の亀裂進展	7.00
	の亀裂進展	7.20
	繊維の上で新たに亀裂発生	8.16
	D6 の左上の亀裂進展	8.87
	終局近くで繊維の上側のせん断スパン域から新たに 亀裂発生。その後、圧壊 中央部の繊維のみ剥離し、破断	8.93
Pmax = 10.03t		



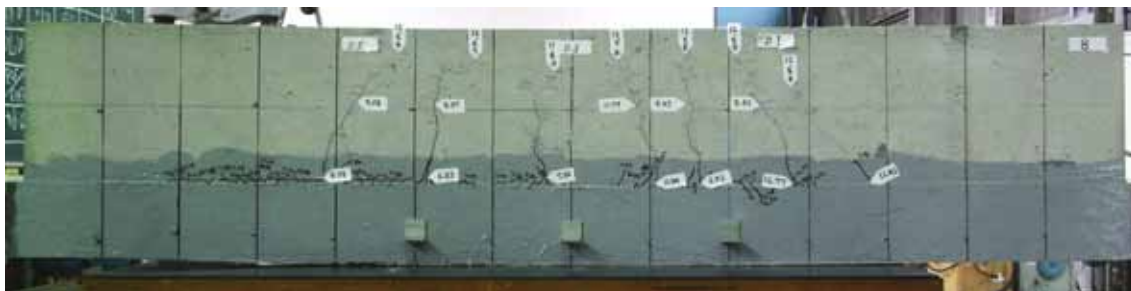
通路側



試験機側

表 13 MK2B 破壊状況

順番	破壊状況	荷重(t)
	D3 と D5 の間のグリッド線付近の繊維の上、 純曲げスパン域で初亀裂発生	2.38
	D4 と D6 の間のグリッド線付近の繊維の上で 新たに亀裂発生	2.42
	の亀裂進展	2.45
	の亀裂進展	2.48
	の亀裂進展	2.50
	の亀裂分岐し進展 通路側、中央部のみ繊維剥離 試験機側、左端から中央部にかけて繊維剥離	2.56
		Pmax = 2.60t



通路側



試験機側

表 14 HT2B 破壊状況

順番	破壊状況	荷重(t)
	D6 の上、純曲げスパン域で初亀裂発生	6.68
	終局近くの繊維の上側せん断スパン域から 新たに亀裂発生	6.80
		6.83
		6.92
		7.30
		9.54
	の亀裂進展	11.57
	の亀裂進展	11.80
	の亀裂進展	12.35
	の亀裂進展	12.39
	の亀裂進展	12.67
	の亀裂進展 通路側は繊維剥離せず、 試験機側は右側から中央部にかけて繊維剥離	12.69
		Pmax = 13.02t

配筋タイプ:H- 4 体は、曲げスパン内(近傍)で亀裂数本が発生し圧縮縁へ伸張して、圧壊します。配筋の効果で亀裂が分散し、伸張に伴い荷重・変形が増加します。
無筋タイプ:M-では、繊維非貼付・貼付の双方で生じた(目視できた)亀裂がほぼ直上に、比較的短時間で伸びて折損(圧壊ではなく)に到るのが特徴です。
いずれのタイプも終局辺りで繊維剥離が見られ、一部(HK1B)では繊維破断となりました。

各点 P(荷重)- δ (測定変位)関係の呈示を以下に行います。変形の対称性確認のため、1 体 6 点の変位を 2,3 枚の図で描き分けています。

MKN:(図 13,14) 変位計分解能を下回るデータで、初亀裂・最大荷重・変形が分る。

HTN: (図 15,16) 上段は北面、下段は南面の各点変位、僅かな変形差が見られる。

MT1A: (図 17,18,19) 最大荷重後耐力低下、持直した後も荷重振幅が続く。

MT1B:(図 20,21,22) 上記同様だが、低めの荷重で持直し、南側に倒れ気味。

HK1A: (図 23,24,25) 20kN まで傾斜傾向、降伏点以降僅かな除荷回復 3 度。

HK1B: (図 26,27,28) 最大荷重以降 2 度、(剥離伴う)顕著な荷重低下,更に変形。

MK2B: (図 29,30) 変位計分解能で階段状立上がり、数 mm の変位で最大荷重。

HT2B: (図 31,32) 測点 006 付近の亀裂進展で剥離、降下域変位は南面が大。

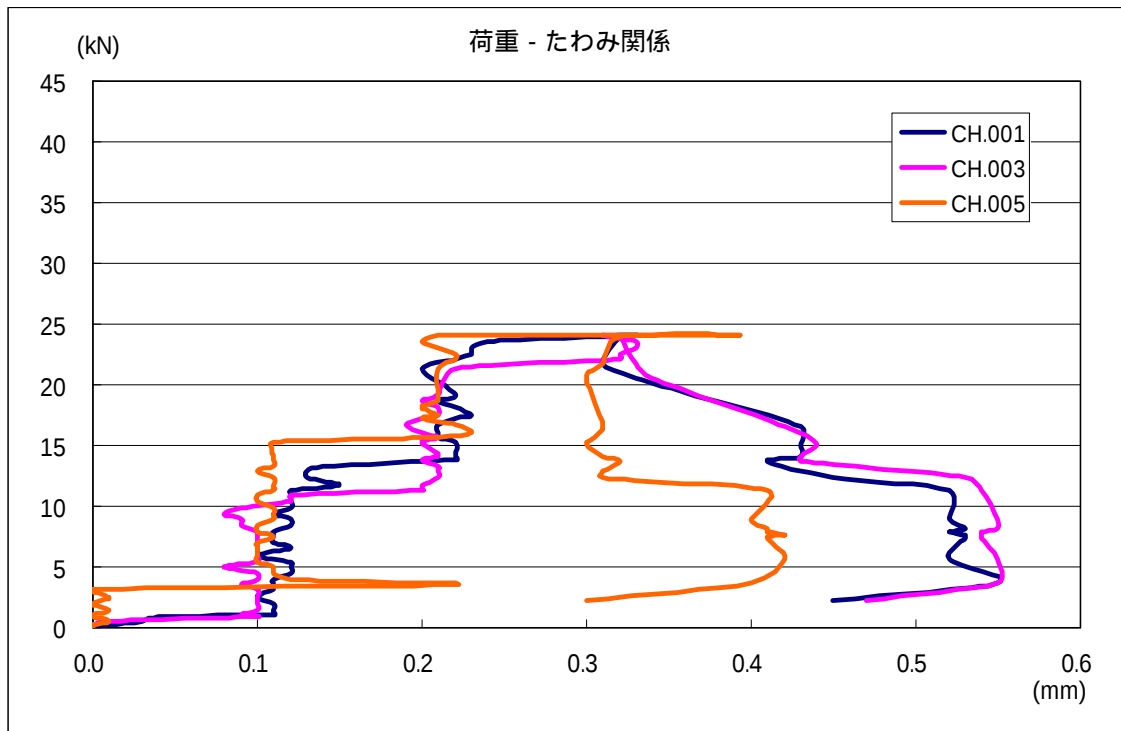


図 13 MKN 通路側 P(荷重)- δ (測定変位)関係

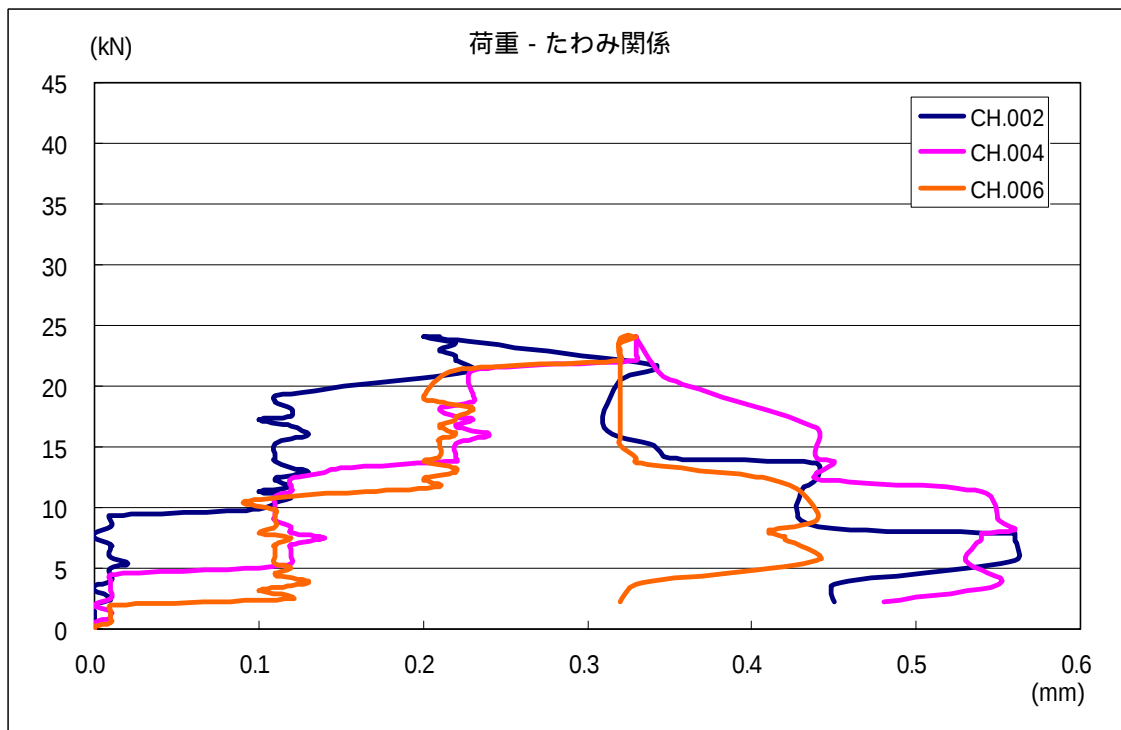


図 14 MKN 試験機側 P(荷重)- δ (測定変位)関係

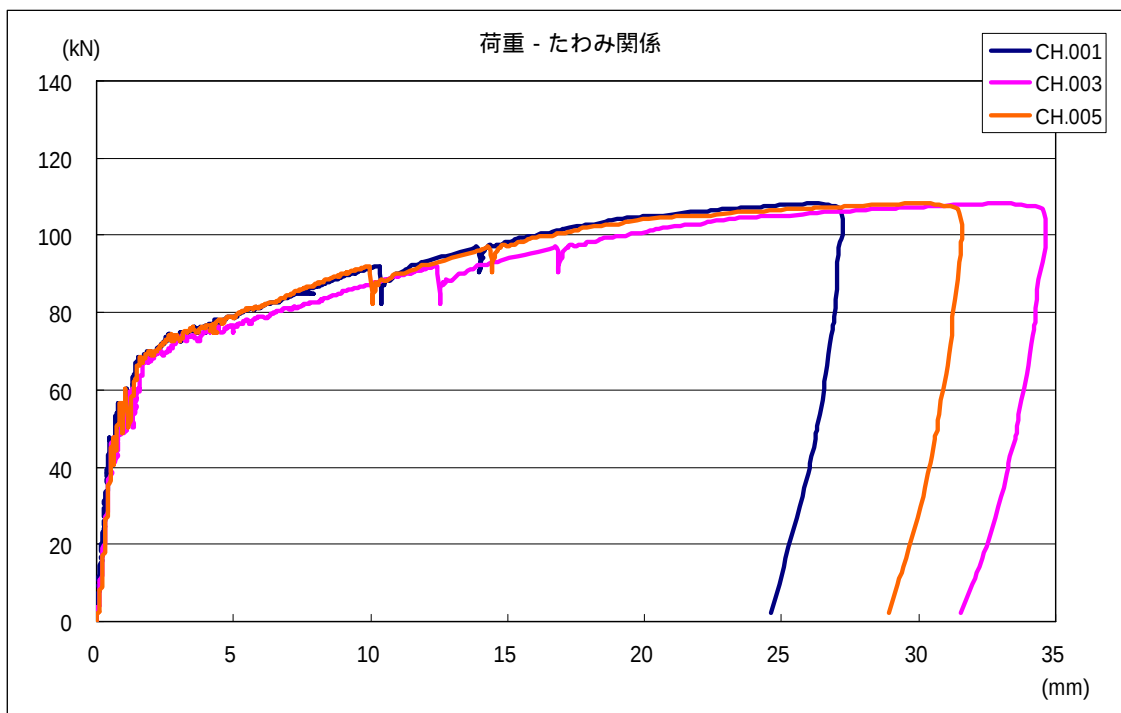


図 15 HTN 通路側 P(荷重)- δ (測定変位)関係

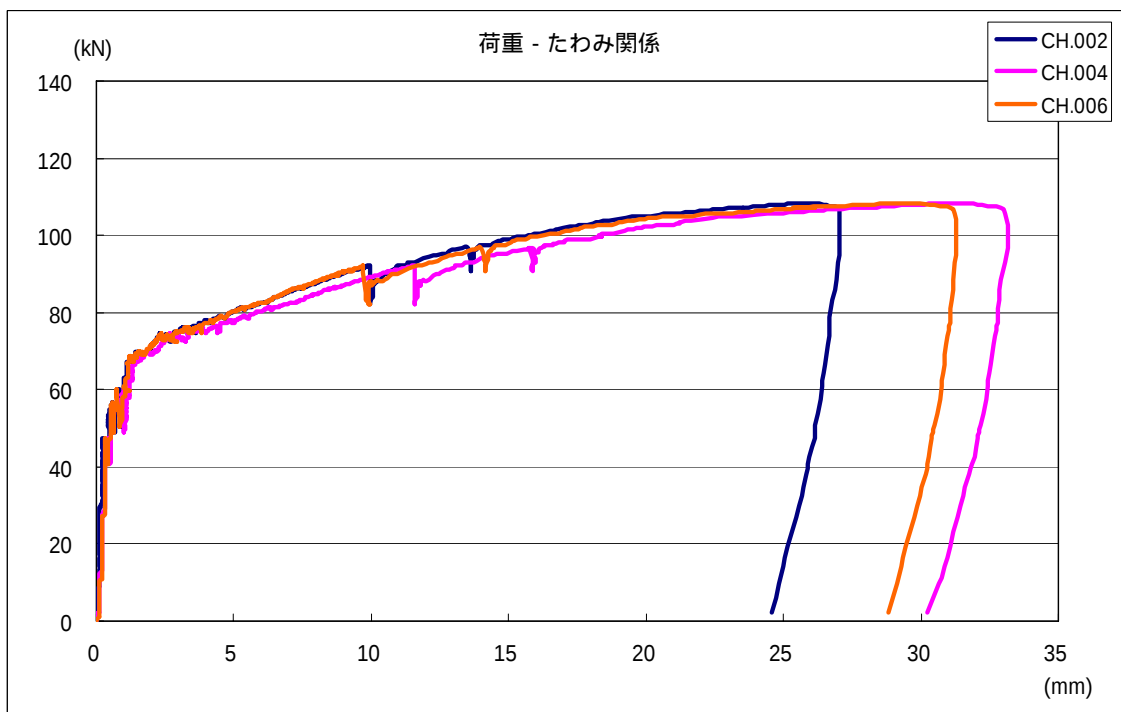


図 16 HTN 試験機側 P(荷重)- δ (測定変位)関係

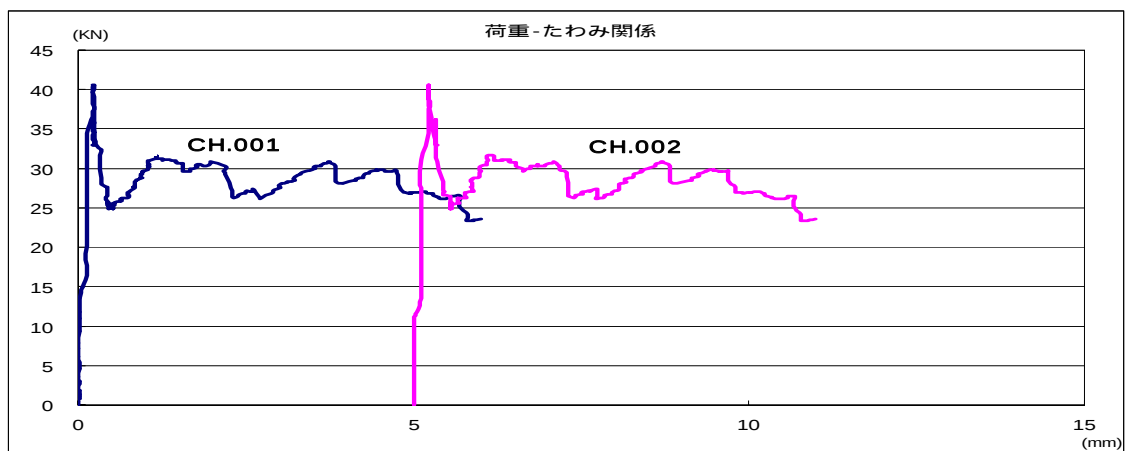


図 1/ MT1A 変位計1・2 P(荷重)- δ (測定変位)関係

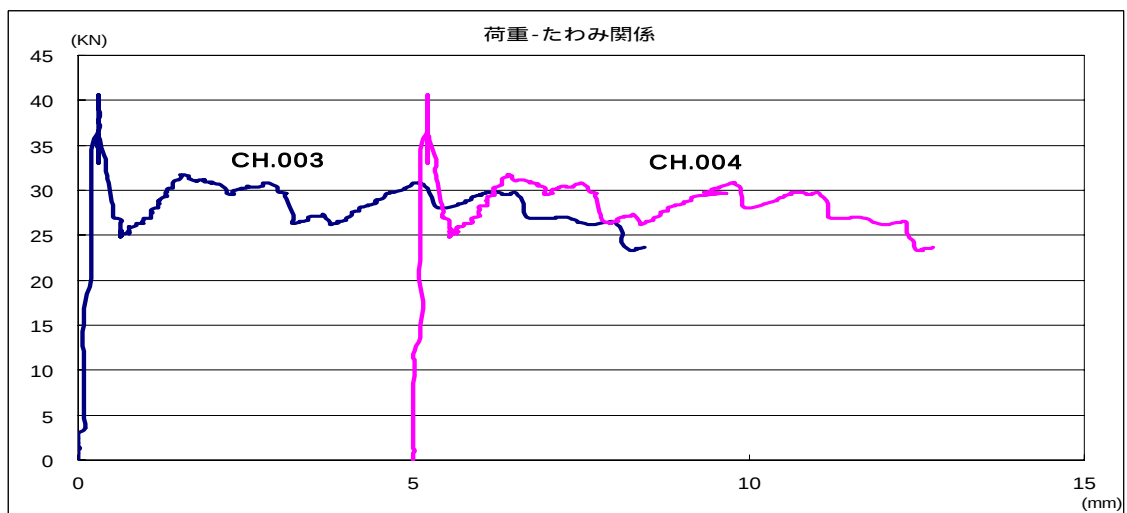


図 18 MT1A 変位計3・4 P(荷重)- δ (測定変位)関係

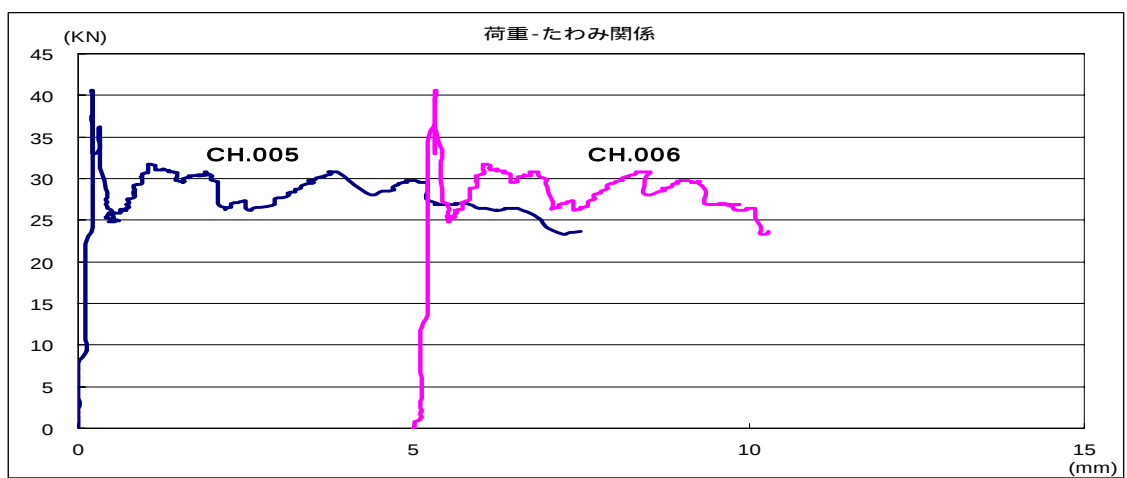


図 19 MT1A 変位計5・6 P(荷重)- δ (測定変位)関係

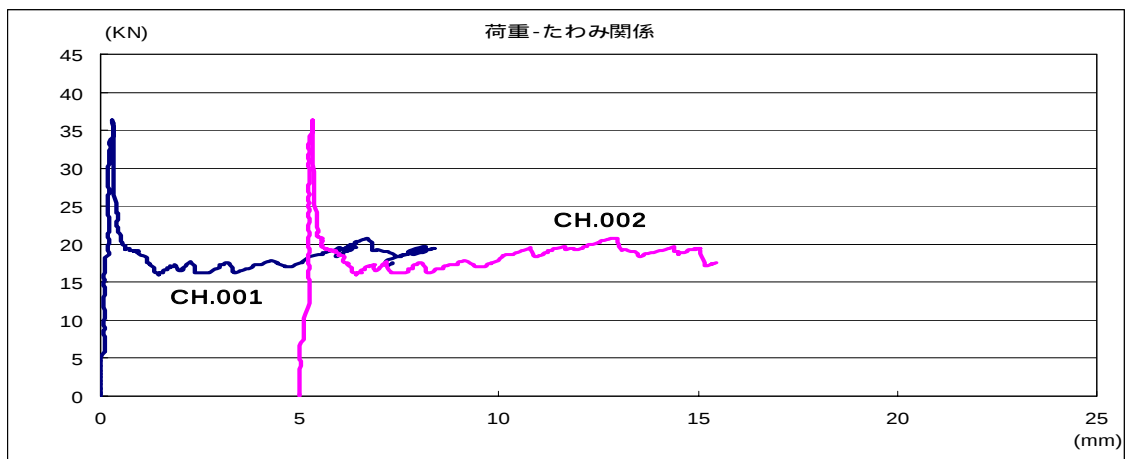


図 20 MT1B 変位計1・2 P(荷重)- δ (測定変位)関係

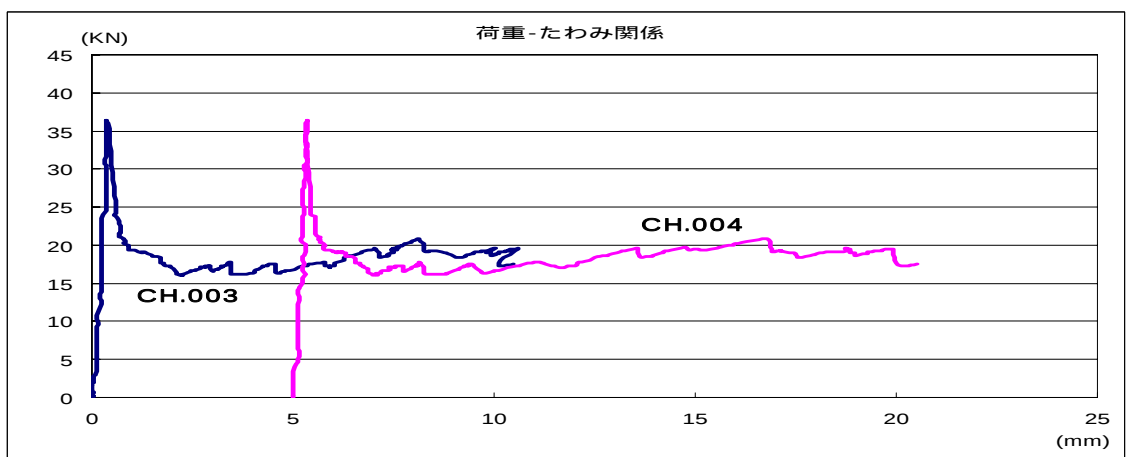


図 21 MT1B 変位計3・4 P(荷重)- δ (測定変位)関係

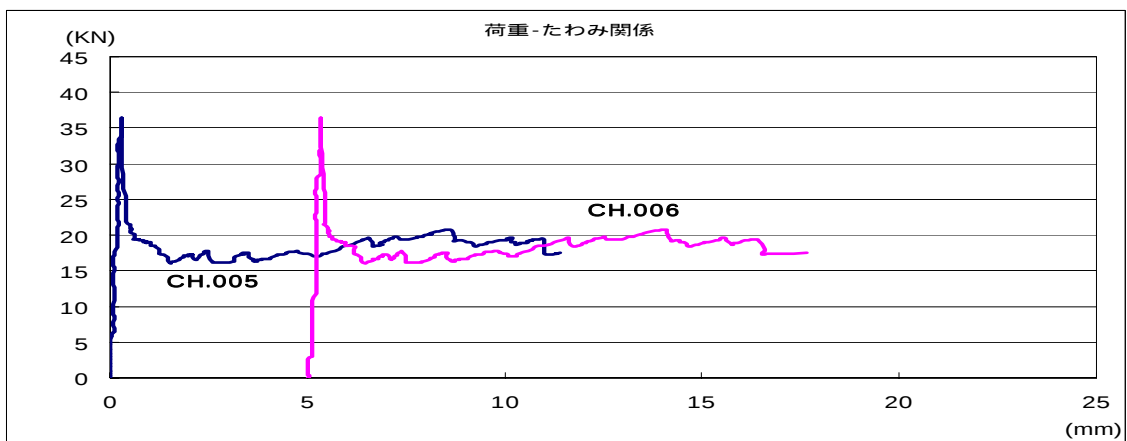


図 22 MT1B 変位計5・6 P(荷重)- δ (測定変位)関係

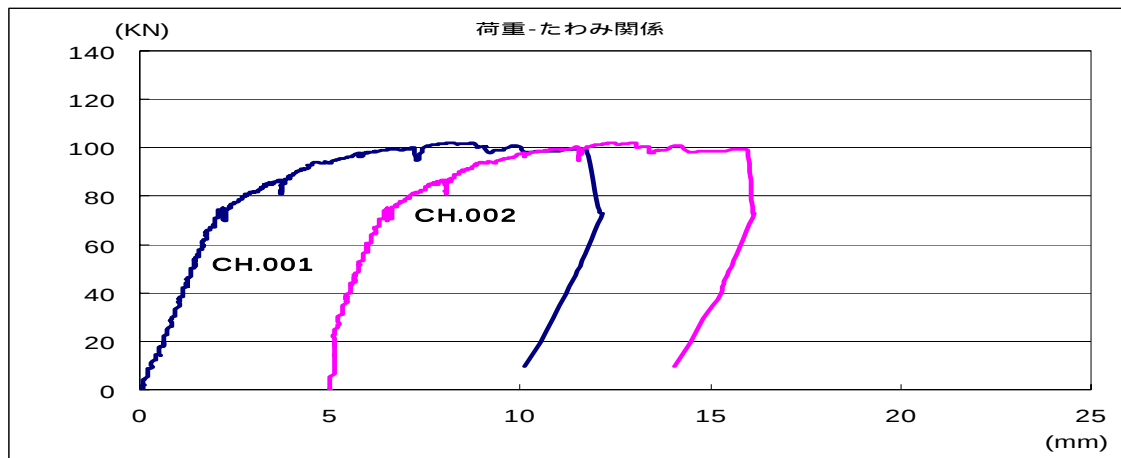


図 23 HK1A 変位計1・2 P(荷重)- δ (測定変位)関係

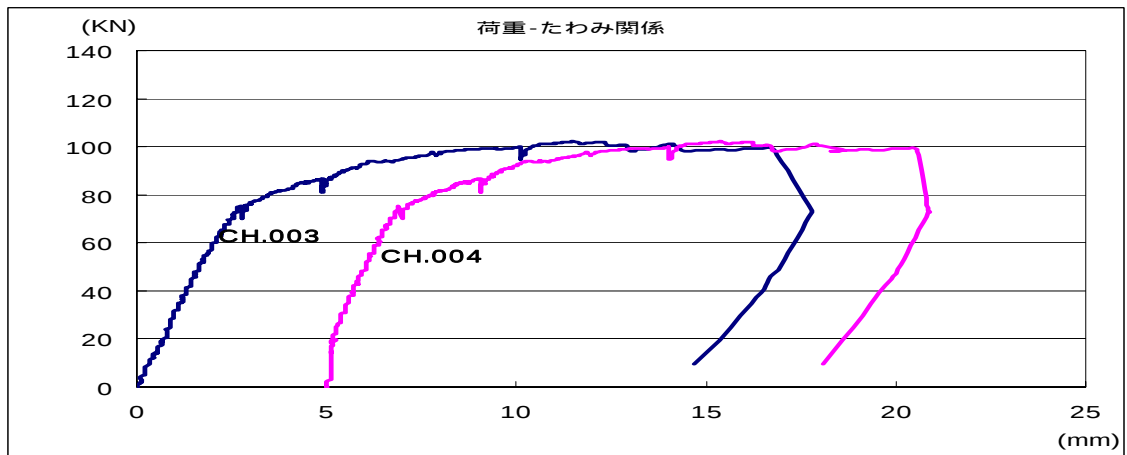


図 24 HK1A 変位計3・4 P(荷重)- δ (測定変位)関係

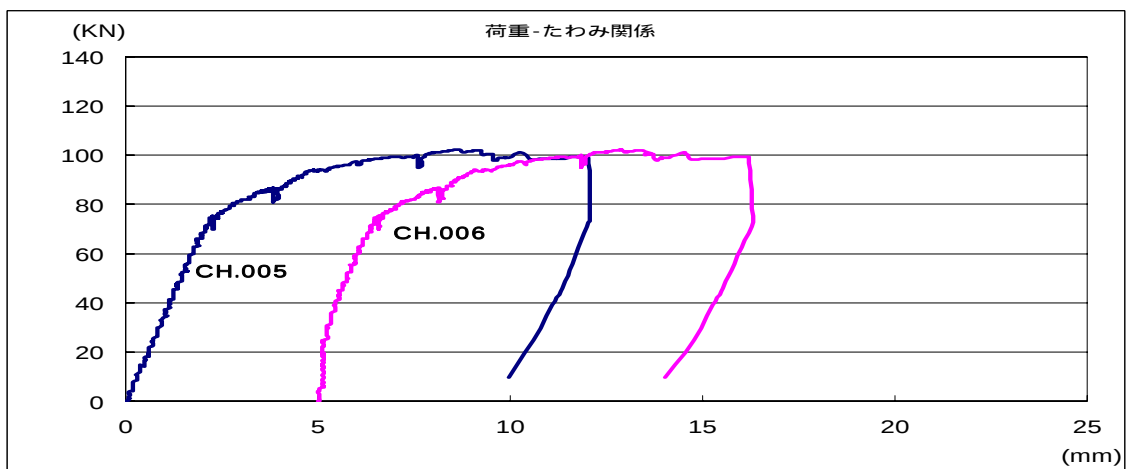


図 25 HK1A 変位計5・6 P(荷重)- δ (測定変位)関係

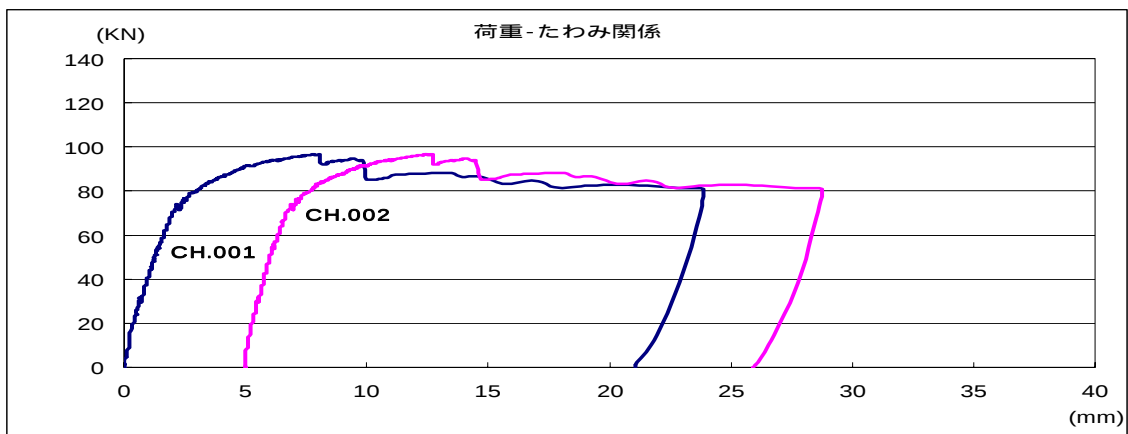


図 26 HK1B 変位計1・2 P(荷重)- δ (測定変位)関係

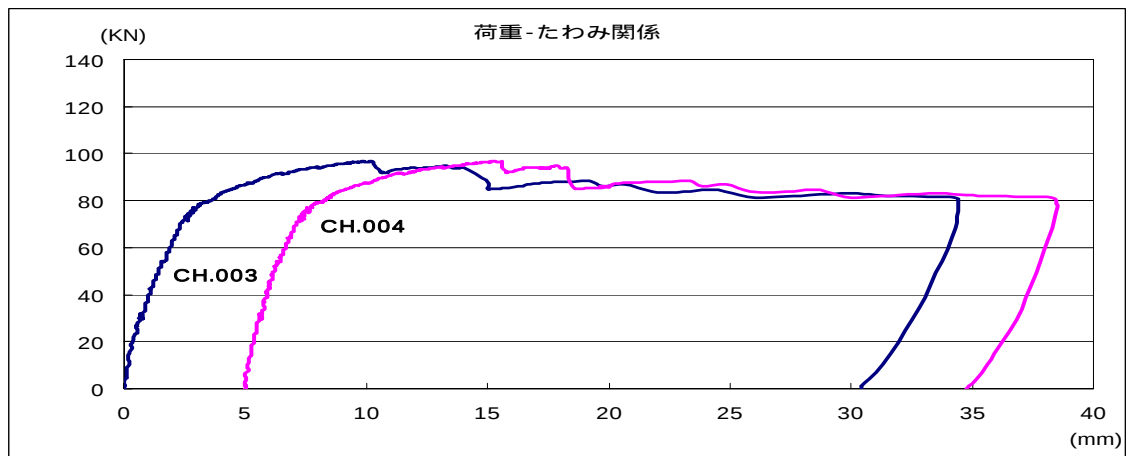


図 27 HK1B 変位計3・4 P(荷重)- δ (測定変位)関係

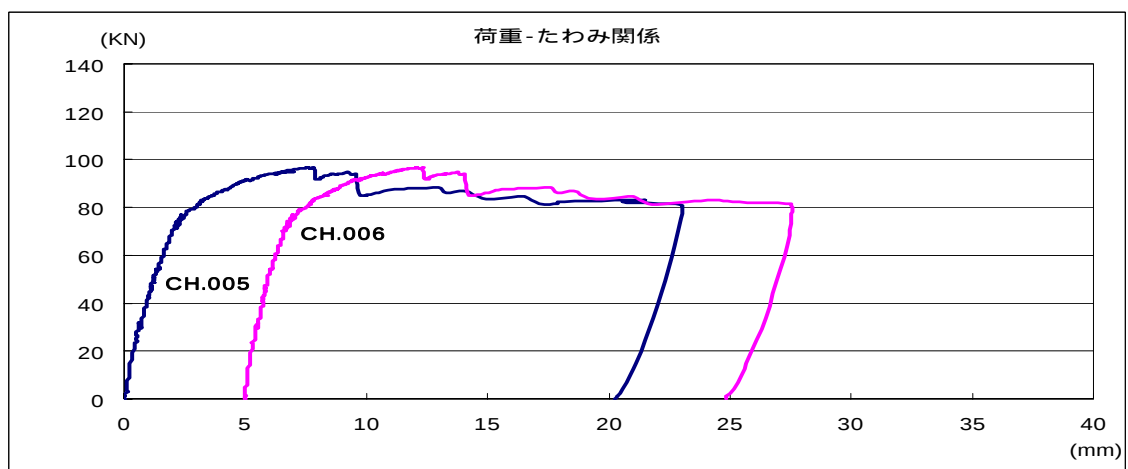


図 28 HK1B 変位計5・6 P(荷重)- δ (測定変位)関係

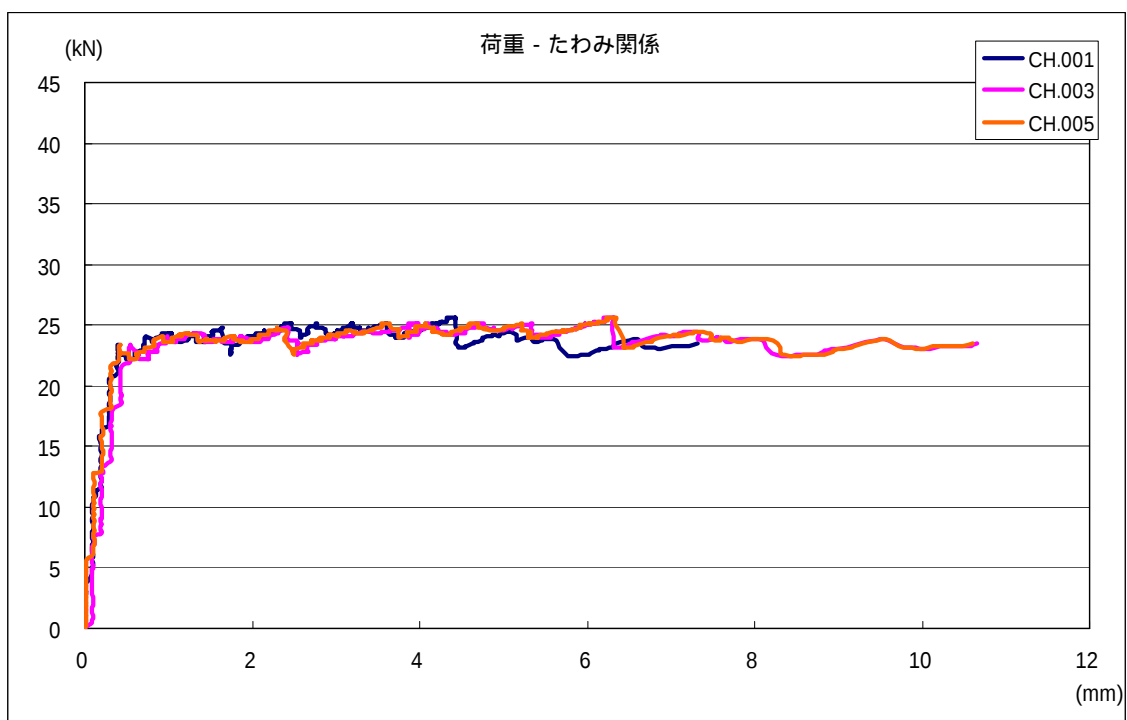


図 29 MK2B 通路側 P(荷重)- δ (測定変位)関係

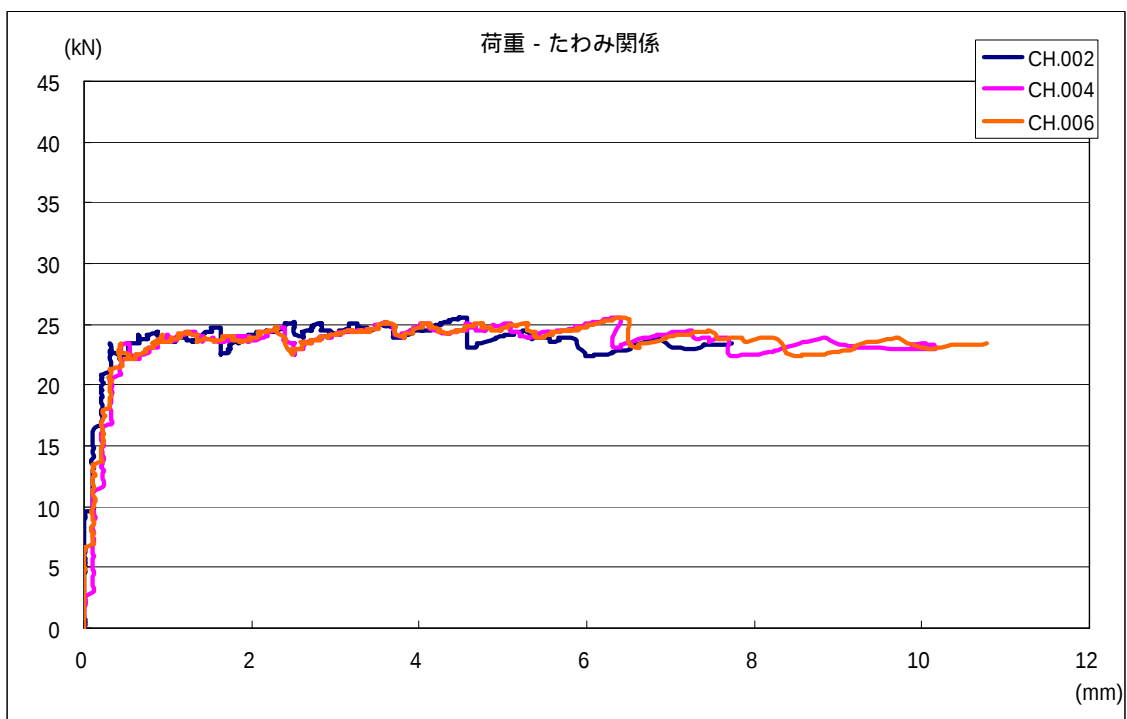


図 30 MK2B 試験機側 P(荷重)- δ (測定変位)関係

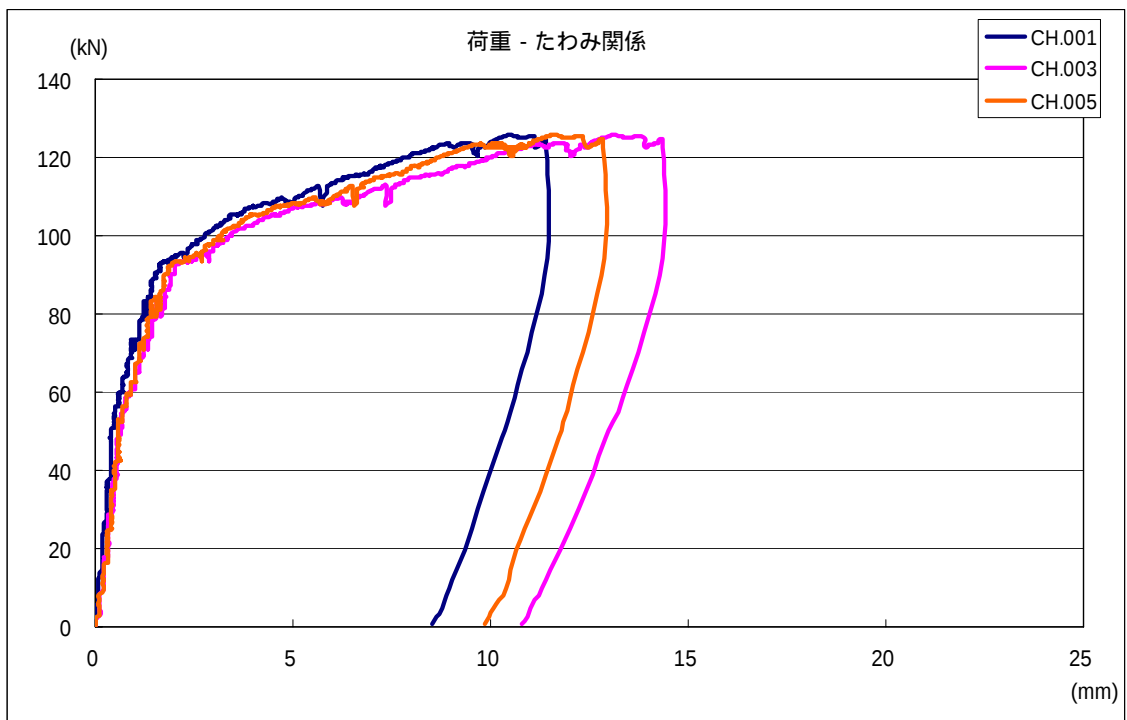


図 31 HT2B 通路側 P(荷重)- δ (測定変位)関係

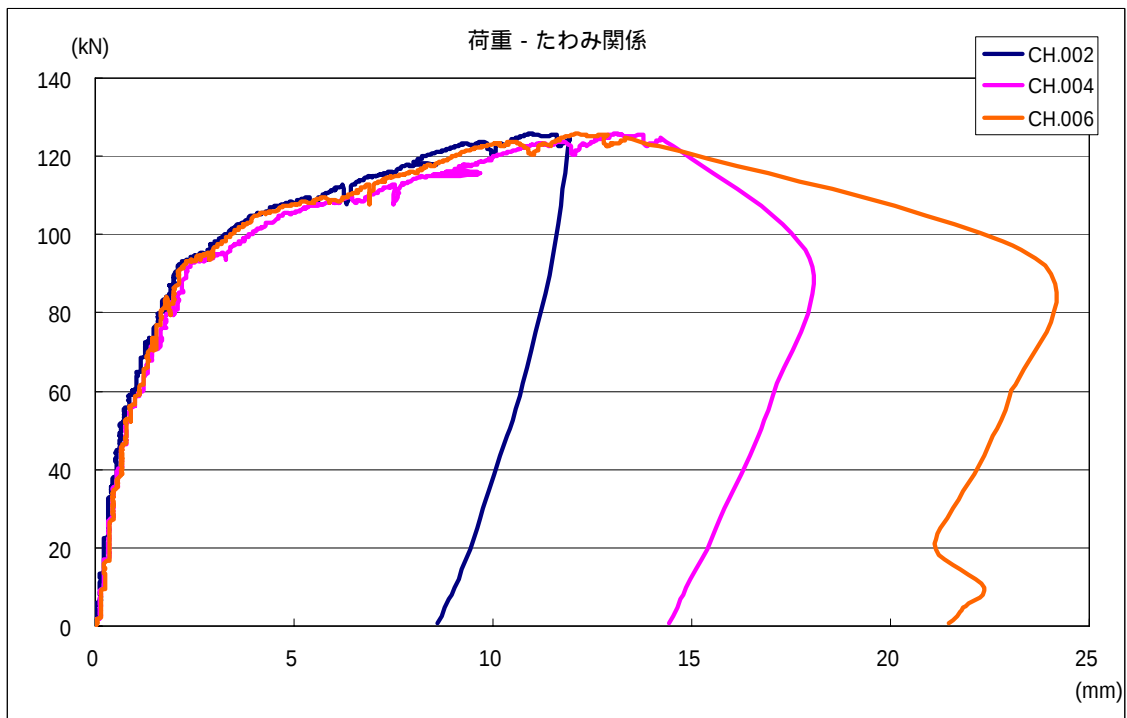


図 32 HT2B 試験機側 P(荷重)- δ (測定変位)関係

10. 実験結果 2 図 33 に荷重-中央たわみ(表裏平均)関係を一覧にして、右下に無筋 4 種、左半に配筋の 4 種を配し、交錯を避け 5mm 置きに立上げ、耐力喪失までを示しました。また図中には曲線の立上り以降、⇒、△、▽マークが付して、順に実験結果での初亀裂発生、降伏点、および最大の荷重点である事を示しています。

右端 MKN:初亀裂の一撃から僅かで最大となって折損に至り、移動中に分断した。

MK2B:両面貼付だが開口のため低荷重推移、6mm で最大、変位 10mm 強。

MT1B:最大荷重後その約 1/2 で推移。変形は 13mm 程、無筋 4 体では最大。

MT1A:最大荷重後その 7 割前後で波打つ。変形能力は 8mm 弱。

左半 HTN:初亀裂以降の荷重低下 2,3 度。降伏後も歪硬化で耐力・変形とも上昇。

HT2B:両面貼付で初亀裂・降伏・最大が配筋 4 体中最大。変形 14mm ほど。

HK1B:最大荷重後 2 度低下して以降、滑らかに下降しながら 30 数 mm 変形。

HK1A:-1B より耐力増は大きいものの、最大荷重以降は数 mm の変位。

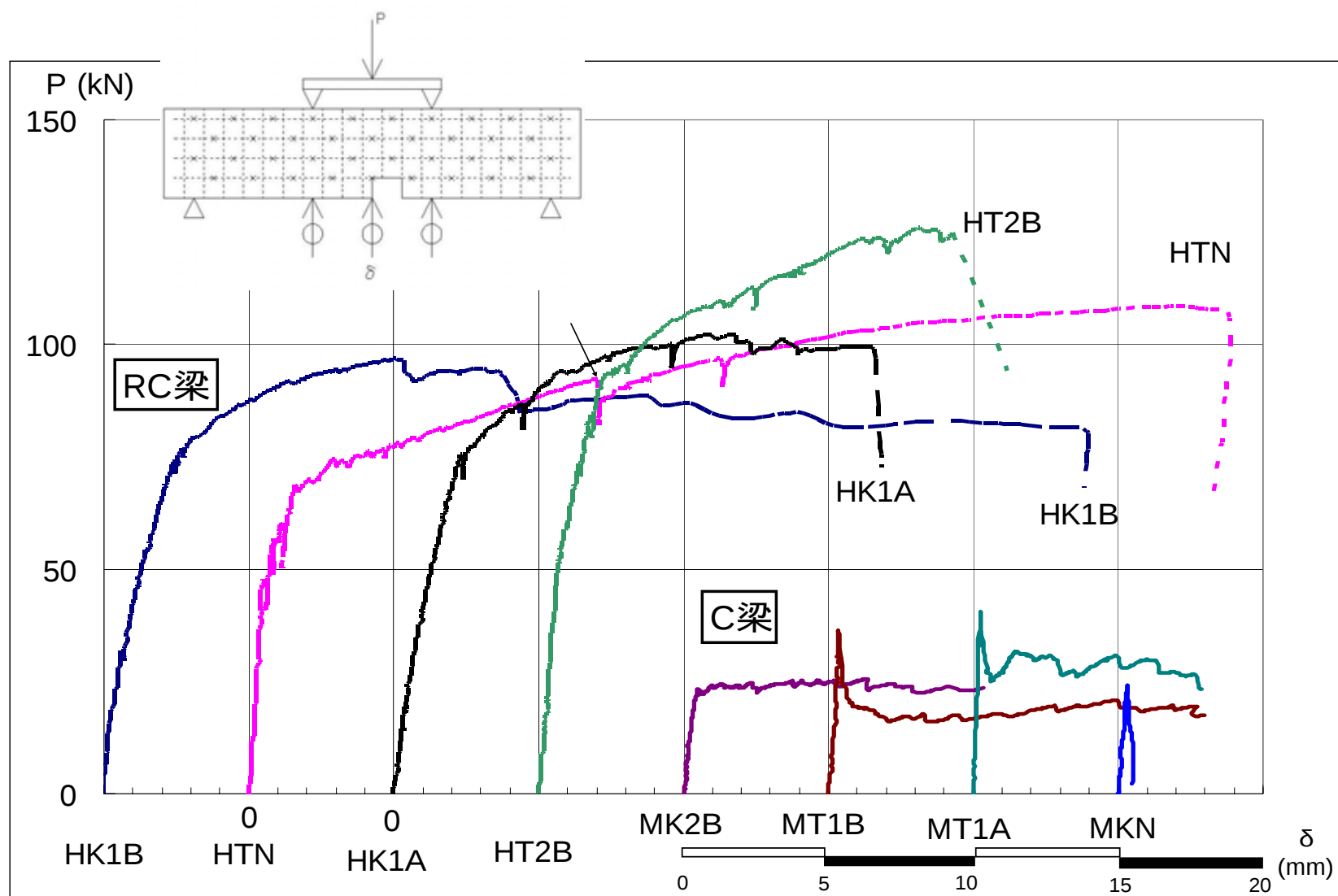


図 33 荷重 - 中央たわみ関係一覧

11. 考察 表 15 に全 8 体の数値的試験結果を示し、各要因の検討を行います。

表 15 数値的結果等

試験体	初亀裂荷重 (kN)	降伏点荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	終局たわみ (mm)	同スパン比	破壊状況*
M K N	24.11		24.40	0.54	1/3333	A
M T 1 A	40.57		41.26	8.09	1/222	C
M T 1 B	36.41		37.24	12.99	1/139	C
M K 2 B	23.32		25.58	10.35	1/174	F
H T N	48.02	60.29	108.39	33.88	1/53	B
H K 1 A	34.89	75.26	103.88	16.82	1/107	D
H K 1 B	31.85	74.19	98.29	33.97	1/53	E
H T 2 B	65.46	93.49	127.60	16.16	1/111	D

* 破壊状況補足

A：亀裂が進展したが、折損に至らず

B：複数個所より亀裂進展して、圧壊

C：中央部から亀裂進展し、繊維剥離から圧壊して折損分断

D：複数個所より亀裂進展し、繊維剥離から圧壊のような形状に至る

E：複数個所より亀裂進展、中央部の繊維剥離・破断から圧壊

F：中央部から亀裂進展し、繊維剥離から屈曲折損

無筋開口:MK-の初亀裂荷重は両面バサルト:-2Bが非貼付:-Nを下回るが、最大荷重では幾分、終局たわみで明瞭に上回り、繊維貼付は終局に効果的といえる。
無筋通直:MT-は荷重でアラミド:-1A が、終局変位ではバサルト:-1B が上回る。

配筋開口:HK-は初亀裂での劣勢を降伏点で逆転、各荷重値でアラミド:-1A が、終局変位でバサルト:-1B が勝る。後段は無筋通直の記述に揃い繊維の特質である。
配筋通直:HT-で両面バサルト:-2B が各荷重値で、非貼付:-Nは変形能力で優位。

両面バサルト:-2B は、無筋開口:MK-で終局、配筋通直:HT-では全荷重値に寄与。
片面バサルト:-1B は、無筋通直:MT-、配筋開口:HK-で変形能力確保に寄与する。

12. おわりに 表 16 に、許容荷重略算値と試験結果の対非貼付比を示しました。

表 16 数値的結果の対非貼付比率

試験体	初亀裂	降伏点	最大荷重	終局たわみ
MKN	1.00 (22.43)	$P_{crack} \uparrow$ $t \sigma_b \leq F_c/10$ $P_y \uparrow$ $M_y = a_t \times f_t \times j$	1.00	1.00
MT1A	1.68 (37.07)		1.69	14.98
MT1B	1.51 (37.07)		1.53	24.06
MK2B	0.97 (22.43)		1.05	19.17
HTN	1.00 (37.07)	1.00 (47.40)	1.00	1.00
HK1A	0.73 (22.43)	1.24 (37.40)	0.96	0.50
HK1B	0.66 (22.43)	1.23 (37.40)	0.91	1.00
HT2B	1.36 (37.07)	1.55 (47.40)	1.18	0.48

() 内、計算値は繊維なしとしたもので、上段枠内による 単位：kN

(以下 2 式は繊維シートを考慮していません)

初亀裂荷重: $P_{crack} = (F_c/10) \cdot bh^2/l \quad \because \quad t \sigma_b = M/Z = P_c l / 6Z \leq F_c/10$

降伏荷重: $P_y = 6M_y/l \quad \cdots M_y = a_t f_t j \quad \cdots (j=7d/8) \quad \because \quad p_t \leq p_{tb}$

以上より、初亀裂荷重 P_{crack} 、降伏荷重 P_y を算出し、表 16() 内に示しています。他の数値は、無筋開口非貼付:MKN、配筋通直非貼付:HTN を基準の比です。

表 15 の各実験値は、表 16() 内の計算値を概ね上回り、妥当なものといえます。

また、初亀裂荷重の計算値における開口・通直の比率は、 $22.43:37.07=1:1.65=0.61:1$ であるので、アラミド貼付のほうは初亀裂の比がこれを超えています。

更に降伏荷重計算値での開口・通直比は、 $37.4:47.4=1:1.27=0.79:1$ であり、アラミド・バサルト貼付とも降伏点比率は大きく、貼付効果が明白といえます。最大荷重比も 1.0 近くで、開口補強としては効果を認められます。

最後に、予備的実験も通して、今後の可能性について 1,2 申し添えます。

バサルト繊維の伸び性能の良さがシート巻き付けで発揮した粘り、下面貼付で得られた角棒での繊維破断、更には本実験無筋開口で表裏貼付の MK2B において、初亀裂が複数確認できて剥離が中央(曲げスパン)先行であったことなど、亀裂分散・高めの伸び性能を窺える結果でした。ここに着目して、以降の検討(異種繊維の併用、金属材料の併用、メカニカルな止付け等)を行ってはと考えます。