

実験報告書

ジャバラ工法におけるジャバラゴムがコンクリート中に埋め込まれた鉄筋に与える影響に関する実験的研究 (結束線の種類が引張耐力に与える影響)

平成 18 年 11 月 14 日

崇城大学工学部建築学科 岩原研究室
岩原 昭次 (工博 建築学科 助教授)

も く じ

1	研究目的	1	8-1	試験体のセット方法	8
2	試験体	2	8-2	ジャッキの荷重調整の確認	8
2-1	実験パラメータ	2	8-3	裁荷方法と支持面の水平度の確保	9
2-2	試験体数	2	9	実験結果	9
2-3	試験体	2	9-1	各試験体の実験経過	9
3	使用材料	3	9-2	最大引張力	11
3-1	コンクリート	3	9-3	最終破壊状況	12
3-2	鋼材	4	10	まとめ	14
3-3	ジャバラゴム	4	付録 1	実験スケジュール	15
4	試験体の製作方法の概略と製作精度	6	付録 2	コンクリートの機械的性質	16
4-1	製作方法の概略	6	付録 3~7	各試験体の実験状況	17~37
4-2	試験体の脱型と養生	6			
5	測定項目と測定方法	7			
5-1	測定項目	7			
5-2	計測方法	7			
6	加力骨組と支持方法	8			
7	載荷方法	8			
8	実験準備	8			

ジャバラ工法におけるジャバラゴムがコンクリート中に埋め込まれた鉄筋に与える影響に関する実験的研究(結束線の種類が引張耐力に与える影響)

1 研究目的

一般にコンクリート中に配置される鉄筋は結束線によって、主筋と補強筋(あばら筋、帯筋)とが結合され、組立てられる。この鉄筋の組立て方法には、あらかじめ鉄筋加工場で行う方法と、鉄筋工事現場で直接組立てる方法との 2 つに分けられるが、前者は鉄筋先組み工法として定着している。

従来の鉄筋先組み工法で組まれた鉄筋の構成物は、運搬車の荷台の制約上一度に大量に現場まで運送できないこと、および現場での仮置き場所があまりない場合はその場所の確保が困難であることなどにより、鉄筋先組み工法は工事の短縮化や省力化に優れているものの、その利用方法に限界がある。このような問題に対する 1 つの解決方法として、ジャバラ工法が提案され、現在、少しずつ普及しつつある。

ジャバラ工法は、鉄筋先組み工法の 1 つであるが、主筋と補強筋とを結合する結束線に特殊なゴム(ここではジャバラゴムと称することにする)を用い、あらかじめ鉄筋加工場で鉄筋を組み立て、その後でゴムの加撓性を利用してその組立てた鉄筋の構成物を倒しておき、現場に搬入した後、組立て時にその組み倒していたものを立ち上げて、鉄筋工事を行うというものである。そのため、この工法により組立てられた鉄筋配筋物は従来の運搬車に先組み工法のものよりも多く運搬車に載せることができること、また、工事現場に大きな仮置き場所を設けなくてよいことなどの特長がある。

しかしながら、この工法では結束線として、番線ではなくジャバラゴムを使用するため、設計あるいは施工サイドなどの一部から、構造耐力に何かしらの影響を与えるのではないかという、指摘がなされている。

そこで、本研究は、結束線としてジャバラゴムを使用する場合の構造耐力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

なお、構造耐力には、曲げ耐力、せん断耐力、付着耐力(引抜き耐力)の 3 つがあるが、ジャバラ工法は梁に対する配筋を対象にし、また、継手は溶接継手を用いるため、付着耐力(引抜き耐力)への影響は相対的に小さいと考えられるので、本来は、構造耐力は曲げ耐力とせん断耐力のいずれかがまず対象になると考えられる。しかしながら、極めて簡便な方法として、本研究で対象とする構造耐力は、対象を梁とすることと、基本性状を明らかにすることの 2 つから、付着耐力(引抜き耐力)とする。

2 試験体

2-1 実験パラメータ

実験パラメータは結束線の種類とし、次の 4 つとする。

- ① 結束線がない場合
- ② 通常の結束線を用いた場合

③ ジャバラ工法で用いるゴムを使用する場合

④ あばら筋間隔

なお、試験体の大きさ、形状および使用する鉄筋の種類は全て同一とする。

2-2 試験体数

試験体は引抜き耐力を対象とするので、1点引張力(引抜き力)実験用の試験体15体とする。

その内訳は次の通りである。

N-NB：結束線がない場合の引抜き力を求める試験体である。試験体数は同一のもの、3体である。

他の試験体(K-NB，J-NB)との比較用である。

K-NB：通常の結束線を用いる場合の引抜き力を求める試験体である。試験体数はあばら筋間隔が広いもの(100ピッチ)3体、狭いもの(60ピッチ)3体、合計6体である。

J-NB：ジャバラ工法で用いるジャバラゴムを結束線に用いた場合の引抜き力を求める試験体である。

試験体数はあばら筋間隔が広いもの(100ピッチ)3体、狭いもの(60ピッチ)3体、合計6体である。

2-3 試験体

ここでは、引張鉄筋として、D22(SD345)を、あばら筋としてD10(SD295A)を、結束線として通常の番線(#21 なまし鉄線、 $\phi 0.8\text{mm}$)を用いる。また、コンクリートは目標強度 24 N/mm^2 の普通ポルトランドセメントとする。

試験体を表2-1に一覧する。

表 2-1 試験体の形状と寸法・配筋

試験体名	幅×奥行×高さ(mm)	配筋		結束線	あばら筋間隔(mm)	加力方法
		主筋	あばら筋			
N-N1～3	220×220×290	D22(SD345)	なし	なし	なし	単純引張り(引抜き力)
K-W1～3			D10(SD295A)	通常の番線	100ピッチ	
K-S1～3					60ピッチ	
J-W1～3				ジャバラゴム	100ピッチ	
J-S1～3					60ピッチ	

(注1) 試験体数は各シリーズで3体ずつである。

(注2) 通常の番線は#21 なまし鉄線($\phi 0.8\text{mm}$)である。

また、試験体の形状を図2-1に示す。

試験体は結束線がない場合、通常の結束線を用いた場合、およびジャバラを用いた場合の3点が異なるだけで、試験体の断面寸法および配筋は全て同一である。

表 3-2 コンクリートの配合

種別	水セメント比 (%)	目標スランブ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
					N/m ³ (kgf/m ³)				
場所打ちコンクリート	53	19.0	4.3	46.2	1800 (180)	3400 (340)	7960 (796)	9950 (995)	34 (3.4)

表 3-3 コンクリートの機械的性質(場所打ちコンクリート)

材令 (日)	養生種別	圧縮強度 (上段) ヤング係数 (中段) 最大歪 (下段)	割裂引張強度	スランブ (cm)
28・29	水中	35.98 (359.8)	2.79 (27.9)	19.0
		2.98 (29.8)		
		2006		
29	気中	28.46 (284.6)	2.61 (26.1)	
		2.5 (25.0)		
		2310.7		
36	気中	28.03 (280.3)	水中養生の為参考値 3.23 (32.3)	
		2.53 (25.3)		
		2199.3		

(注1) 単位: 圧縮・割裂引張強度: MPa(kgf/cm²) ヤング係数: GPa(×10⁶kgf/cm²) 最大歪: μ

3-2 鋼材

本実験に使用する鉄筋は次の2種類とする。

鉄筋(規格値)D13	D22JIS G 3112 SD345
	長期許容応力度220MPa (2200 kgf/cm ²)
	短期許容応力度345MPa (3500 kgf/cm ²)
D6	D10JIS G 3112 SD295A
	長期許容応力度196MPa (2,000 kgf/cm ²)
	短期許容応力度294MPa (3,000 kgf/cm ²)

鉄筋の機械的性質を表 3-4 に示す。

表 3-4 鋼材の機械的性質

種別	鉄筋	
	D22 (SD345)	D10 (SD295A)
品質		
標準直径 (mm)	22.2	9.53
公称断面積 (mm ²)	387.1	71.3
降伏点応力 N/mm ² (kgf/cm ²)	378.0	370.3
ヤング係数×10 ⁵ N/mm ² (×10 ⁶ kgf/cm ²)	1.84	1.89
最大引張強度 N/mm ² (kgf/cm ²)	581.2	524.3
降伏点歪* (%)	2096	2153

(注1) “*” 永久歪が 0.2%の時の応力値及び歪。

3-3 ジャバラゴム

ジャバラゴムは内径約 10mm、外径約 14mm(肉厚約 2mm)、幅 12mm のゴム製リングで、写真 4-1(1) に示すようなものであり、その原料は、表 3-5 に示すように、にかわ等を構成成分としている。また、

表 3-6 に、ジャバラゴムの検査報告書を示す。

表 3-5 ジャバラゴム原料(検査結果表より)

サンプル名	エマルジョン	サンプル提供	試験室
メーカー	中聯椀(ゴム)公司	数量	393.6トン
ロットNo.	2001006	室温	20℃
検査項目	基準値	実測値	
固体総含量 % \geq	61.5	61.6	
ニカワ % \geq	60.0	60.1	
非ゴム固体 % \leq	2.0	1.5	
アルカリ度 (NH ₃) % \geq	0.06	0.64	
機械的安定度 S \geq	650	1280	
揮発性脂肪酸の値 \leq	0.20	0.02	
目視色	明らかなグレーまたは藍色ではないこと	乳白色	
ホウ酸が中和後の匂い	明らかな腐敗臭がないこと	無	

表 3-6 ゴム管の検査結果

サンプリング部署	品質管理室	ロットNo.	030301	検査類別	判定	テスト温度	19℃ ~20℃
検査実施日	2003.4.1-4.9	検査基準	0B4491-93	商標	渤海		
検査項目		基準		検査結果		AQL 値	
物 理 性 能	エージング 前	引張破壊強さ MPa	≥ 21	22~26		< 4.0	
		引張伸び率 %	≥ 700	732~812		< 4.0	
	エージング 後	引張破壊強さ MPa	≥ 16	13~24		< 4.0	
		引張伸び率 %	≥ 500	740~820		< 4.0	
規格寸法			内径(mm)	肉厚(mm)	内径(mm)	肉厚(mm)	AQL 値
		10×14			9.9~10.2	1.9~2.1	< 2.5
洗浄液		透明度	無色、透明				
		PH差	≤ 1.0				
浸 出 液 含 量 10 (m/m)	硫		≤ 15.0				
	砒素		≤ 0.20				
	亜鉛		≤ 3.0				
	重金属(鉛で計算)		≤ 1.0				
	カルシウム		≤ 10.0				
	バリウム		検出不可				
耐蒸煮性能			5回で粘度が上がらないこと	5回蒸煮して粘度が上がらなかった			
外観			透明	透明		2.5	
			明らかな膨れがないこと	無		2.5	
			気泡	無		2.5	

4 試験体の製作方法の概略と製作精度

4-1 製作方法の概略

製作の日程を表 4-1 に示す。

表 4-1 試験体の製作日程

試験体名	型枠製作日	鉄筋配筋日	コンクリート打設日	養生方法・期間
N-N1~3	平成 18 年 9 月 19 日		平成 18 年 9 月 20 日	湿潤養生 7 日間
K-W1~3				
K-S1~3				
J-W1~3				
J-S1~3				

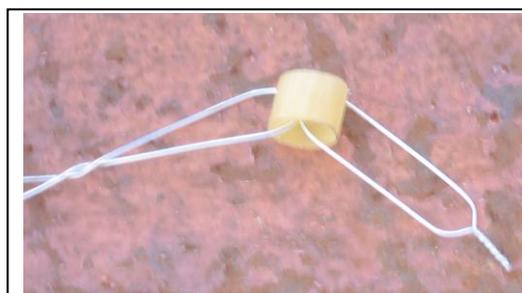
試験体の製作方法は次の通りである。

- ① はじめに、あばら筋を有する試験体については、主筋(D22)に90度に折り曲げた片側100mm(全長200mm)のあばら筋を交叉させ、その交差部にジャバラゴムあるいは径0.8mmの結束線で結束した。
- ② ①で配筋したもの、あるいは主筋だけのものを試験体の型枠の中央にセットし、また、配筋が動かないように結束線で固定する。
- ③ 型枠にコンクリートを打設する。

ジャバラゴムによる結束の方法を写真 4-1 に示す。

4-2 試験体の脱型と養生

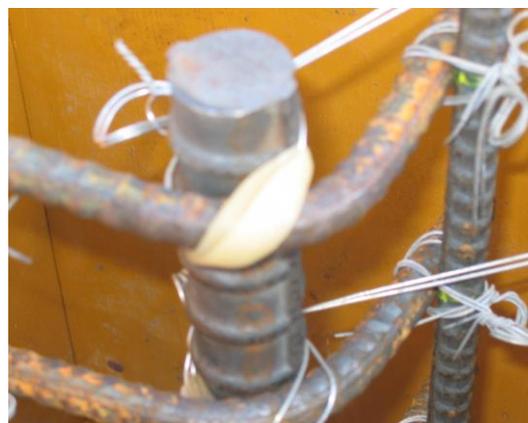
試験体のコンクリート打設後、材令1日(打設日の翌日)で脱型し、その後、材令8日まで濡れたシートなどで覆い、湿潤状態を保たせて放置する(湿潤養生期間7日)。湿潤養生終了後実験時まで自然放置した。



(1) ジャバラゴム



(2) ジャバラゴムによる結束



(3) 結束完成

写真 4-1 ジャバラゴムによる結束方法

5 測定項目と測定方法

5-1 測定項目

引抜き力に対する実験での測定項目は荷重(引抜き力)とひび割れ状態のみとする。

荷重測定はロードセル C LP-500KNB (500KN)による。

また、ひび割れ状態は目視による。

5-2 計測方法

荷重は、パソコンと測定器 (TDS-601) を RS-232C インターフェースを使用して接続し、測定を行う (測定機器関係は図 5-1 参照)。測定はすべてパソコンの EXCEL (Ver. 6. 0) でマウスを用いて行い、測定した荷重データを随時 EXCEL に記録する。

作成したワークシート (シート名) については

- ・データが記録されるシート……………データシート

測定したデータがそのまま記録される場所

EXCEL に測定器を操作するためのツール (ユーザー定義 : ST) を作成し、ST をマウスでクリックすることにより測定されるようになっている。

測定経過については、まず、測定器 (TDS-601) の方でインシヤル値を測定しその後パソコンの方で荷重 0kN の値を測定してから載荷実験を開始する。測定はすべてパソコンで行うが最初のインシヤル値だけは、パソコンの方からは操作ができないため測定器 (TDS-601) で測定する。パソコンの方で 0 kN の値を測定した後はパソコンの EXCEL でマウスを用いて測定 (ST をマウスでクリックする) する。前に述べたように、あらかじめ作成してあるワークシート (データシート、グラフシート、グラフ図) の中でデータシートを開き、そのデータシートの指定したセルを基準として荷重に対して測定値を横に記録していく。記録されたデータは EXCEL シートにそのまま表示される。

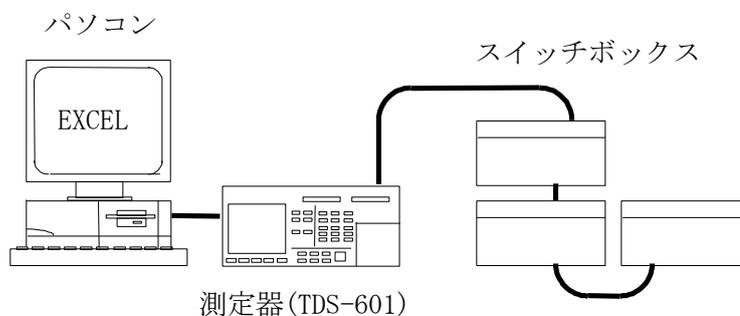


図 5-1 測定機器関係図

6 加力骨組と支持方法

加力骨組を図 6-1 に示す。

厚さ 50mm の反力プレートの中央には $\phi 100\text{mm}$ の円孔が設けてあり、試験体の鉄筋はその円孔を抜けて、500kN ジャッキの先端に M36 のネジで緊結されている。試験体の支持面は反力プレートとなる。

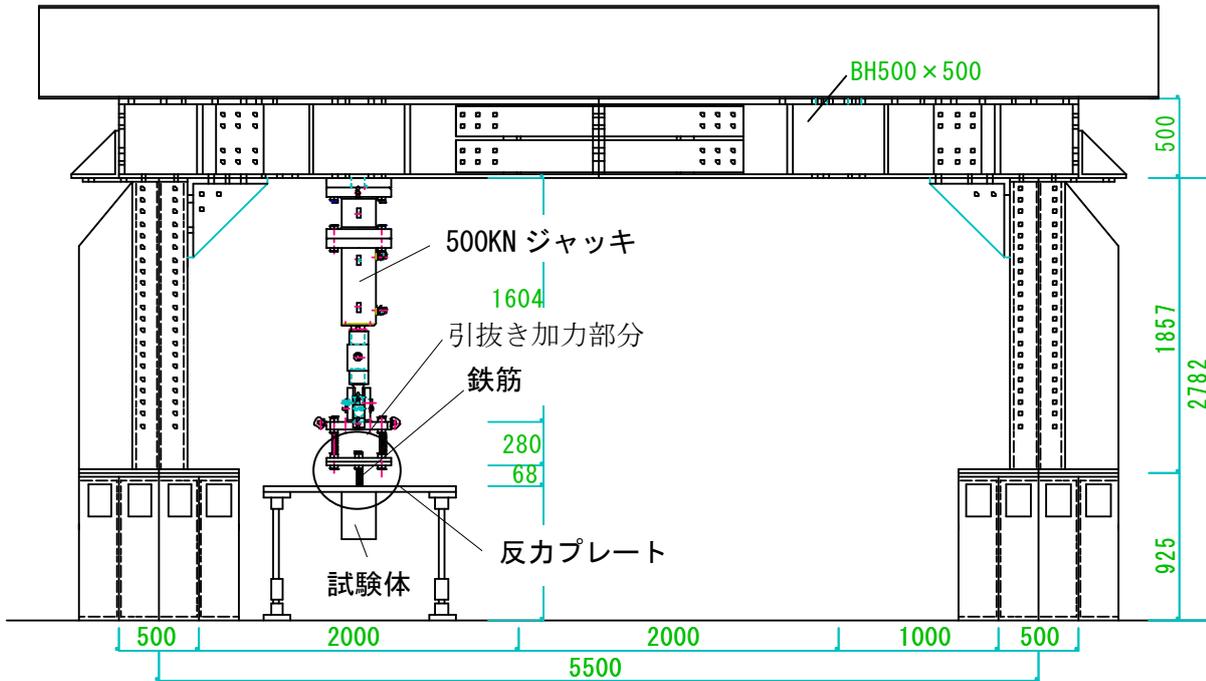


図 6-1 加力図

6-

7 載荷方法

試験体の加力方法は図 6-1 に示すように、500kN ジャッキを用いて、試験体の中央から抜き出ている鉄筋(先端は M36 のネジきり)を上方に引張り方法とした。単純引張り試験である。

載荷は、最初に 50kN まで荷重を加えて、一度除荷し、その後、鉄筋破断まで加力した。

8 実験準備

8-1 試験体のセット方法

- ① 試験体を図 6-1 に示す反力プレート支持板の下に持っていく。
- ② 手動リフトで試験体を持ち上げ、試験体先端のネジ部を支持板の穴に通す。
- ③ ダブルナットでネジ部をジャッキ先端部分に取り付け、締める。

8-2 ジャッキの荷重調整の確認

- ① 20t ロードセルでの荷重値の確認(係数 0.093t 少数第 2 位 80kgf で確認 OK)
- ② 加力ジャッキ先端に取り付けたロードセル TCLP-500KNB の荷重値の正しさの確認は、その下に先に

確認したロードセルを置いて、その荷重値と一致することによって確認した。

8-3 裁荷方法と支持面の水平度の確保

N-N1～3 試験体については、単純に反力プレート支持板の下に試験体を取り付けて、加力を行った。この場合、試験体で鉄筋が取り付けられている表面にゆるやかな凹凸があること、主筋とその表面が垂直でないことなどにより、主筋の側面がコンクリートを押し広げる状態になり、低い加力段階からコンクリート部でひび割れを起こした。

そこで、K-W1～3、K-S1～3、J-W1～3 および J-S1～3 の各試験体に対しては主筋が露出している表面と反力プレート支持板との間に、試験体が水平を保って、且つ反力プレート支持板に密着するように、写真



写真 8-1 支持面の水平度の確保(反力プレート支持板と試験体表面との間にプラストーンを塗る)

8-1 に示すように、プラストーンを盛り付け、加力面がジャッキの方向と垂直になるように調節した。

9 実験結果

9-1 各試験体の実験経過

各試験体の最大引張力に至る経過を表 9-1 に示す。

表 9-1 試験体毎の実験経過

試験体名	実験経過	備考
N-N1	<ul style="list-style-type: none"> ・ 30kN で音がした。場所は不明。49kN まで加力し除荷する。 ・ 13.75kN まで除荷し、再加力開始。 ・ 150kN あたりから、降伏荷重を越えた。 ・ 約 206kN あたりで鉄筋が抜け出して、その後コンクリートにひび割れが起こった。試験体側面西面のみひび割れが生じているが、これにより、最大引張力に達した。試験終了。 	鉄筋の降伏荷重 146.3kN。 (材料試験データより)
N-N2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 50kN まで加力し除荷する。1.25kN から再加力開始。 ・ 102kN で音がした。場所は不明。 ・ 100～113kN までに音が頻繁に鳴り出し、鉄筋が抜かず、コンクリートが破壊。最大引張力 129kN(計測はできていない)で鉄筋の降伏荷重には達していない。試験終了。 	
N-N3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 49.5kN まで加力し除荷する。2.75kN から再加力開始。 ・ 83kN および 91kN で音がした。場所は不明。 ・ 133.5kN で、西面・南面・東面の三箇所ひび割れが生じ、3つに分かれるようにして破壊した。最大引張力 133.5kN(計測はできていない)で鉄筋の降伏荷重には達していない。試験終了。 	
K-W1	<ul style="list-style-type: none"> ・ 最初に、50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷 	

	<p>はしなかった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・93kN、110kN でプラスチックが欠けた。 ・208kN でコーン状破壊を起こした。ひび割れは試験体の側面東面のみのように見える。試験終了。
K—W2	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・216.75kN で鉄筋の抜け出しが起きた。試験終了。
K—W3	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・224kN でコーン状破壊が起きた。試験体側面南面に大きなひび割れ、北面に小さなひび割れが見られる。試験終了。
K—S1	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力し除荷する。5.5kN から再加力開始 ・60kN と 83kN 過ぎにプラスチックが欠けた。 ・112.5kN あたりから、南面の左上部のコンクリートが欠けた。 ・138.75kN 時に西面に太く、東面にやや太く、南面に細いひびが入り、鉄筋が抜けた。試験終了
K—S2	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・146kN で音がした。場所は不明。 ・213kN でコーン状破壊が起きた。試験体側面東面と南面にひびが生じている。試験終了。
K—S3	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・187.5kN でコーン状破壊が起こった。試験体側面東面と南面にひび割れが生じている。試験終了。
J—W1	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・162kN でプラスチックが欠けた。 ・202kN で鉄筋が抜け出た。試験終了。
J—W2	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・166kN でプラスチックが欠けた。 ・214kN でコーン状破壊が起こった。試験体側面東面に大きなひび割れ、西面に小さなひび割れが見られる。試験終了。
J—W3	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・211.75kN で鉄筋が抜け出た。試験終了。
J—S1	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・104kN、129.5kN および 148kN でプラスチックが欠けた。 ・218kN で鉄筋が抜けた。ひび割れは見られない。試験終了。
J—S2	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・38kN 時にプラスチックから音がして欠けた。 ・70kN 時、93kN 時および 107kN 時にプラスチックから音がして欠けた。 ・223.25kN で鉄筋が抜け出た。試験終了。
J—S3	<ul style="list-style-type: none"> ・50kN まで加力したが、加力ジャッキ下の木板が外れなかった為、除荷はしなかった。 ・184kN でコーン状破壊と見られる鉄筋の抜け方をした。試験体側面南面に大きなひび割れが、西面に小さなひび割れが見られる。試験終了。

9-2 最大引張力

表 9-2 に各試験体の最大引張力を示す。

N—N2 と N—N3 の最大引張力が低いのはコンクリートを 2 分割あるいは 3 分割するようなひび割れが生じたためであり、この 2 つの試験体の最大引張力は参考値とする。したがって、あばら筋がない試験体の最大引張力は 206.0kN とみなすことができる。

これに対して、ジャバラによる結束線を用いた試験体の最大引張力は 3 本の平均値をとってみても、あばら筋間隔が広い(100 ピッチ)試験体 J—W1~3 および狭い(60 ピッチ)試験体 J—S1~3 のいずれの場合でもあばら筋がない試験体の最大引張力の 1.01~1.05 倍であり、ジャバラによる結束線による最大引張力の低下が見られない。

また、通常の結束線を用いた場合と比較すると、J—W1~3 では K—W1~3 に対してほぼ同等、J—S1~3 では K—S1~3 に対して 1.16 倍であり、ジャバラゴムの結束線による最大引張力の低下が見られない。

表 9-2 最大引張力

試験体名	最大引張力 (kN)	平均値 (kN)
N—N1	206.0 *	156.2*
N—N2	129.0 *	
N—N3	133.5 *	
K—W1	208.0	216.3
K—W2	216.8	
K—W3	224.0	
K—S1	138.8	179.8
K—S2	213.0	
K—S3	187.5	
J—W1	220.0	215.3
J—W2	214.0	
J—W3	211.8	
J—S1	218.0	208.4
J—S2	223.3	
J—S3	184.0	

(注) * : 試験体の主筋が露出している表面と反力プレート支持板との間に、試験体が水平を保って、且つ反力プレート支持板に密着するように、ラストーンを盛り付け、加力面がジャッキの方向と垂直になるように調節していないので、参考値とする。

9-3 最終破壊状況

各試験体の最終破壊状況と破壊形式を表 9-3 に示す。

写真 9-1～9-4 に各試験体の最終破壊状況を示す。

表 9-3 最終破壊状況

試験体名	破壊状況	破壊形式
N—N1	最大引張力 206kN 時にコンクリートの西面に縦に 1 本ひび割れが生じた。鉄筋は抜け出るように、節間のコンクリートをそのまま削り取るようにして抜け出ている。加力間側のコンクリート面は、円すい状に割れている。以上のことから、次のように推測できる。初めに加力間側のコンクリート上面が円錐状に割れて(コーン状破壊)、その後、鉄筋が抜けるようになり、それとともに、西側コンクリート面にひび割れが生じ、耐力を失った。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・側面に縦に 1 本ひび割れ
N—N2	最大引張力時はコーン状破壊が起きて、その後、瞬間的に東西に開くようなひび割れであった。コンクリート内の鉄筋位置では、鉄筋の外観形状をそのまま残している。すなわち、すべりはまったく生じてない。このことから、この試験体ではコーン状破壊を起こした後、直ちにコンクリートにひび割れが生じて破壊となったことがわかる。荷重をかけ始め 100kN を過ぎたあたりから、コンクリートから音が出だしていた。最大引張力は 129kN で、鉄筋の降伏荷重に達していない。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・東西に開くようなひび割れ
N—N3	最大引張力時の破壊状況は最初にコーン状破壊が起きて、その後、ひび割れがコンクリートを三分割するようなひび割れであった。鉄筋の抜け出しは生じていない。このような割れ方が生じたのは、加力間側のコンクリート上面が鉄筋に対して垂直でなかったと考えられる。なお、荷重をかけはじめて 80kN、91kN 時にコンクリートから音が出ていた。最大引張力は 133.5kN で鉄筋の降伏荷重には達していない。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・コンクリートを三分割するようなひび割れ
K—W1	最大引張力は 208.0kN であった。その後荷重は徐々に低下し 207kN まで低下したので、そこで一旦加力を取りやめた。荷重が上がらなかった事について、ジャッキのバブルが完全に開いていなかったこと、および上側の加力梁の北側接合部のボルトが完全に閉まっていなかった事などが考えられる。その後、バブルを完全に開き、再加力をしたところ、約 150kN でコーン状破壊をしたが、最大引張力の採用値は最初の最大引張力の 208kN を採用する。コーン状破壊したのは、鉄筋が抜け出ている。加力面のコンクリート表面のひび割れは二本である。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・鉄筋の抜け出し
K—W2	最大引張力は 216.75kN であった。破壊は鉄筋の抜け出しによるものと考えられる。破壊状況は加力間側のコンクリート面がコーン状破壊の形式となっているが、周辺にひび割れが起きていない事、および、コーン状破壊の特徴であるポコッと抜け出る音が聞こえなかった為、鉄筋の抜け出しによるものと判断した。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・鉄筋の抜け出し
K—W3	最大引張力 224kN であった。破壊形式はコーン状破壊であった。破壊状況は加力間側のコンクリート面はコーン状に破壊しているが、この破壊範囲は約半径 40mm 程度でやや狭い。加力面でひび割れが二本発生しているため、鉄筋を引っ張る際に鉄筋周辺のコンクリートを押し広げるような力が生じた為と考えられる。このことから、コーン破壊と判断した。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊
K—S1	最大引張力は 138.75kN で鉄筋の降伏荷重より低かった。耐力は鉄筋の加力間側のコーン状破壊により失った。コーン破壊の深さは最	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・鉄筋の抜け出し

	初のあばら筋の位置の深さまで達している。ひび割れは四方向に垂直に発生しているが、あばら筋が挿入しているため、N-N シリーズのように鉄筋と分離することは起きていない。コーン破壊後は鉄筋が抜け出ている。ひび割れは四本であった。	
K-S2	最大引張力は 213kN であった。破壊はコーン状破壊で破壊後は鉄筋が抜け出ている。最大引張力は鉄筋の最大引張力より少し低かった。コンクリートの表面ひび割れは二ヶ所発生している。ひび割れ幅もかなり小さい。コンクリートと鉄筋は分離していない。ひび割れは三本であった。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・鉄筋の抜け出し
K-S3	最大引張力は 187.5kN で鉄筋の降伏荷重よりも大きかった。破壊形式はコーン状破壊で破壊後は鉄筋が抜け出ている。コーン状破壊の深さは、第一のあばら筋の位置にまで達している。ひび割れは鉄筋に対して放射線状に発生している。ひび割れは五本であった。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・鉄筋の抜け出し
J-W1	最大引張力は 220kN で鉄筋の引張最大引張力にほぼ等しい。破壊形式は鉄筋の抜け出しである。加力間側のひび割れは発生していない。	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の抜け出し
J-W2	最大引張力は 214kN であった。破壊はコーン状破壊であり、今までと違い、破壊した加力間側のコンクリート面は約半径 60mm 以上であり、広い範囲に及んでいる。コーン状破壊したあとは、鉄筋は抜け出ている。ひび割れは二本であった。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・鉄筋の抜け出し
J-W3	最大引張力は 211.75kN で鉄筋の引張最大引張力にほぼ等しい。破壊形式は鉄筋の抜け出しである。加力間側のひび割れは発生していない。	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の抜け出し
J-S1	最大引張力は 218.0kN で鉄筋の最大引張力の近くまで上がった。破壊形式は鉄筋の抜け出しで、コンクリート部分にはひび割れは発生していない。	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の抜け出し
J-S2	最大引張力は 223.25kN で鉄筋の最大引張力とほぼ同程度であった。破壊は一見すると、コーン状破壊のように見えるが、その深さが浅いこと、および周辺のコンクリートにひび割れが全く見えないことから、すべり破壊と判断できる。	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の抜け出し
J-S3	最大引張力は 184kN で、鉄筋の降伏荷重を越えていた。破壊はコーン状破壊でコンクリートの加力間側に五本のひび割れが生じている。コーン状破壊が起こったのち、鉄筋はずるずると抜け出た。なお、確かなことは分からないが、コーン状破壊する場合、鉄筋を引っ張っていくとそれにともなって、あばら筋も引張方向に側圧を受け、その側圧がコンクリートのかぶり部分を破壊させて、コーン状破壊となったのかもしれない。	<ul style="list-style-type: none"> ・コーン状破壊 ・鉄筋の抜け出し



(1) N-N シリーズの試験後の状態



(2) K-S、K-W シリーズの試験後の状態



(3) J-S、J-W シリーズの試験後の状態

写真 9-1 各試験体の最終破壊状況

10 まとめ

以下の知見が得られた。

- ① ジャバラゴムの結束線を用いた試験体の最大引張力は3本の平均値をとってみても、あばら筋間隔が広い(100ピッチ)試験体 J-W1~3 および狭い(60ピッチ)試験体 J-S1~3 のいずれの場合でもあばら筋がない試験体の最大引張力の1.01~1.05倍であり、ジャバラによる結束線による最大引張力の低下が見られない。
- ② 通常の結束線を用いた場合と比較すると、J-W1~3 ではK-W1~3 に対してほぼ同等、J-S1~3 ではK-S1~3 に対して1.16倍であり、ジャバラゴムの結束線による最大引張力の低下が見られない。
- ③ ジャバラゴムの結束線を用いた試験体の最終破壊状況は鉄筋の抜け出しのみによる場合、あるいはコーン状破壊を伴う鉄筋の抜け出しの2つがみられた。この破壊形式は、本実験の場合、通常の結束線を用いた試験体にも見られるものであり、ジャバラゴムの結束線を用いた試験体の最終破壊を特徴付けるものではない。
- ④ 結果として、結束線としてジャバラゴムの結束線の効果は通常の結束線(#21 なまし鉄線(φ0.8mm))を用いる場合と変わらない。

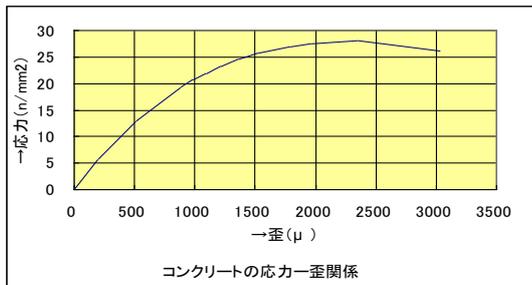
付録1 実験スケジュール

月日	曜日	コンクリートの材令 (日)	事項
09.20	水	0	コンクリート打設
09.21	木	1	
09.22	金	2	
09.23	土	3	
09.24	日	4	
09.25	月	5	
09.26	火	6	
09.27	水	7	試験体、テストピース搬入
09.28	木	8	
09.29	金	9	
09.30	土	10	
10.01	日	11	
10.02	月	12	
10.03	火	13	
10.04	水	14	
10.05	木	15	
10.06	金	16	
10.07	土	17	
10.08	日	18	
10.09	月	19	
10.10	火	20	
10.11	水	21	
10.12	木	22	
10.13	金	23	
10.14	土	24	
10.15	日	25	
10.16	月	26	
10.17	火	27	水中養生のもの水槽から取出し(圧縮試験・引張試験用6本ずつ)。
10.18	水	28	φ10×20cmのテストピースの圧縮試験・引張試験(材令28日)
10.19	木	29	加力実験準備
10.20	金	30	
10.21	土	31	
10.22	日	32	
10.23	月	33	加力実験準備
10.24	火	34	加力実験準備
10.25	水	35	加力実験開始
10.26	木	36	加力実験
10.27	金	37	加力実験
10.28	土	38	加力実験
10.29	日	39	
10.30	月	40	加力実験

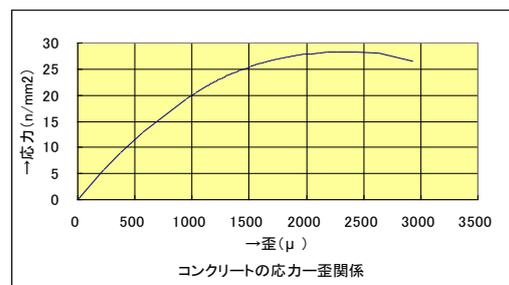
付録2 コンクリートの機械的性質

気中養生	テストピース名	最大引張力 KN	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 N/mm ²	最大歪 μ ($\mu = 10^6$)
	気中—1	218.0	27.8	2.51	2351
	気中—2	221.0	28.1	2.36	2436
	気中—3	226.8	28.8	2.63	2145
	平均	221.9	28.2	2.50	2311

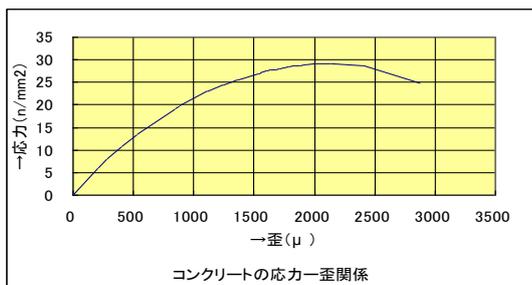
水中養生	テストピース名	最大引張力 KN	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 N/mm ²	最大歪 μ ($\mu = 10^6$)
	水中 j 1-9	292.4	37.2	3.13	2401
	水中 j 2-9	290.0	36.9	3.03	2054
	水中 j 3-9	261.6	33.2	2.77	1563
	平均	281.3	35.8	2.98	2006



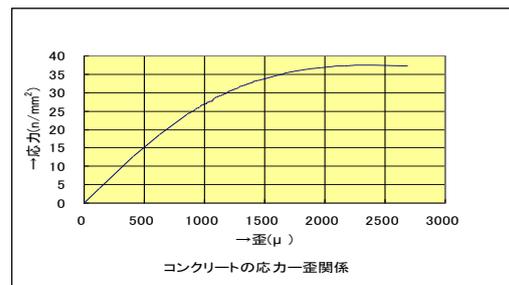
気中養生—1



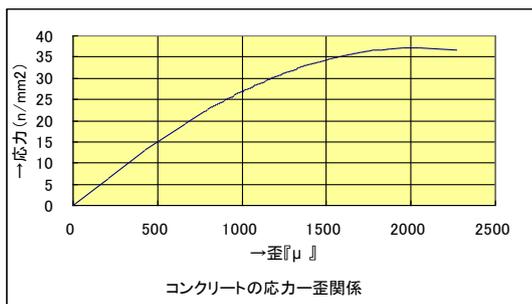
気中養生—2



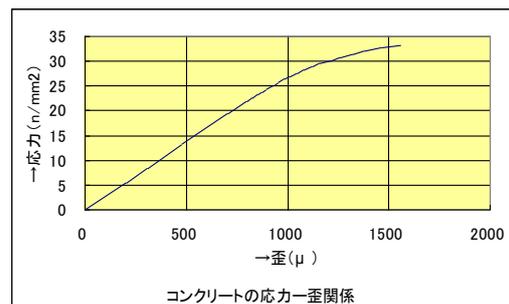
気中養生—3



水中養生—1



水中養生—2



水中養生—3