

論文 衝撃的突き上げを受ける RC 橋脚模型の帯鉄筋の影響に関する一考察

別府万寿博*1・香月智*2・石川信隆*3・宮本文穂*4

要旨：1995年に発生した兵庫県南部地震では、RC橋脚の輪切り状ひび割れ破壊などのように破壊の原因が衝撃的上下動でも説明できるような被災例がみられた。そこで著者らは、先に主鉄筋のみを考慮したコンクリート柱供試体に対する衝撃突き上げ実験^{1) 2)}を行い、衝撃的上下動によるコンクリート柱供試体の輪切り状ひび割れの再現に成功した。本研究は、さらに実際のRC橋脚の配筋状況をより正確に模擬するために供試体内部に帯鉄筋を配筋したコンクリート供試体に対して衝撃突き上げ実験を行い、帯鉄筋が輪切り状ひび割れに及ぼす影響について実験的に考察したものである。

キーワード：衝撃的上下動, RC橋脚, 輪切り状ひび割れ, 帯鉄筋

1. 緒言

1995年に発生した兵庫県南部地震において、写真-1に示すようにRC橋脚の輪切り状ひび割れ破壊など破壊の原因が衝撃的上下動でも説明できるような被災例がみられた。そこで著者らは、先に主鉄筋のみを考慮したコンクリート柱供試体に対する衝撃突き上げ実験^{1) 2)}を行い、衝撃的上下動によるコンクリート柱供試体の輪切り状ひび割れの再現に成功した。ところで阪神大震災においては、RC橋脚段落し部などでせん断破壊が数多くみられた。このような脆性的な破壊を防止するため、平成8年に改訂された道路橋示方書ではじん性を向上するための構造細目として、帯鉄筋間隔に関する規定や中間帯鉄筋の配筋などが新たに付記され³⁾、せん断補強を配筋目的の一つとする帯鉄筋数を増加させる傾向にあり、帯鉄筋の重要性が再認識されている。しかし、この目的は曲げやせん断に対するものであり、帯鉄筋が軸力、特に衝撃的上下動に対して効果があるか否かは不明である。一方、著者らが先に行った衝撃突き上げ実験^{1) 2)}では、主として主鉄筋比や段落しの影響を考察する目的で供試体に主鉄筋のみを配筋したため、帯鉄筋の影響については検討していなかった。

そこで本研究は、実際のRC橋脚の配筋状況を

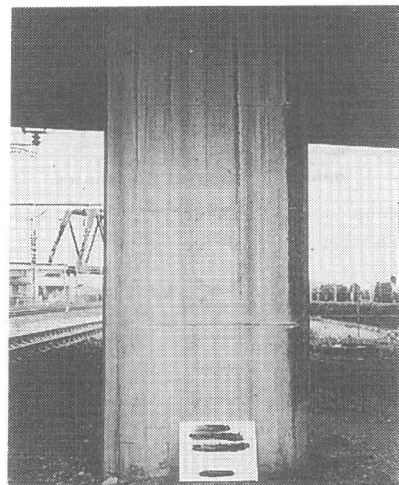


写真-1 RC橋脚の輪切り状ひび割れの例

より正確に模擬するために供試体内部に帯鉄筋を配筋したコンクリート供試体に対して衝撃突き上げ実験を行い、帯鉄筋が輪切り状ひび割れ性状や供試体軸方向ひずみに及ぼす影響について実験的に考察したものである。

2. 実験の概要

2.1 実験装置

衝撃突き上げ実験は、図-1に示すように高速変形荷重装置からの高速荷重を、油圧により載荷

*1 防衛大学校研究員	土木工学科	工修 (正会員)
*2 防衛大学校助教授	土木工学科	工博
*3 防衛大学校教授	土木工学科	工博 (正会員)
*4 山口大学教授	工学部知能情報システム工学科	工博 (正会員)

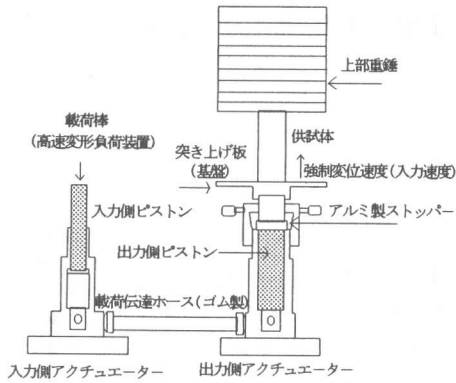


図-1 衝撃突き上げ実験の概要

表-1 主鉄筋の引張試験結果

弾性係数	$1.96 \times 10^5 \text{MPa}$
降伏点	461MPa

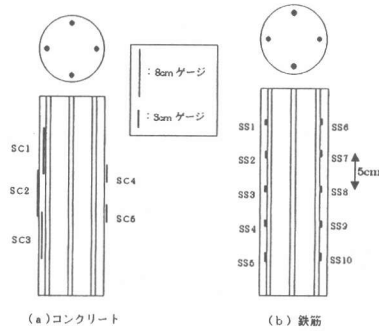
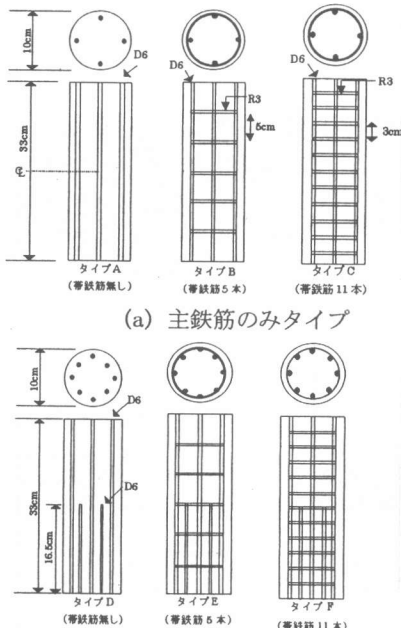


図-3 ひずみの測定位置



(a) 主鉄筋のみタイプ

(b) 主鉄筋+段落タイプ

図-2 供試体の概要

力伝達ホースを介して入力側アクチュエーターから出力側アクチュエーターに伝えるものでコンクリート柱供試体を衝撃的に突き上げる仕組みになっている。突き上げ最大速度は 1.38m/s で、突き上げ変位量は 0.5cm である。

2.2 供試体

実際の RC 橋脚を高さ 10m、直径 3m の円形断面のものと想定し配筋状況を変えながら、縮尺を 1/30 としてコンクリート円柱供試体を作製した。供試体作製には、平均圧縮強度約 24.5MPa のモルタルを用いた。配筋については図-2 に示

すように大きく主鉄筋のみタイプ (A, B, C) と主鉄筋に段落し (柱高さ半分まで配筋) を考慮したタイプ (D, E, F) を作製し、それぞれ帯鉄筋を 5 本 (タイプ B, E, 帯鉄筋間隔 5cm) と帯鉄筋を 11 本 (タイプ C, F, 帯鉄筋間隔 3cm) 配筋したものを作製した (計 6 種類)。主鉄筋には D6 の異形鉄筋を、帯鉄筋には 3.2mm の鉄線を用いて結束線により主鉄筋と結合した。表-1 に主鉄筋の引張試験結果を示す。また、各供試体には約 4.9kN の重錘を載せることにより上部工を表現した (初期圧縮応力約 627kPa)。

2.3 測定項目

コンクリートおよび鉄筋のひずみ測定位置を図-3 に示す。コンクリート表面にはひび割れ発生時刻および位置を確認するため、8cm ゲージを 3 枚、対面に 3cm ゲージを 2 枚、計 5 個所のひずみゲージを軸方向に隙間がないように貼付した。鉄筋は相対する 2 本に、鉄筋中央から 5cm 間隔で 1 本にそれぞれ 2mm のひずみゲージを 5 枚、計 10 個所のひずみを測定した。また、突き上げ板 (基盤) と供試体上部の重錘の変位と加速度も測定した。

2.4 実験ケース

各供試体タイプに対し、最大突き上げ速度約 110cm/s で 2 回行った。実験ケースの一覧を表-2 に示す。

表-2 実験ケースの一覧

	タイプA	タイプB	タイプC	タイプD	タイプE	タイプF
1 体目	TH-H0-H-1	TH-H1-H-1	TH-H2-H-1	CO-H0-H-1	CO-H1-H-1	CO-H2-H-1
2 体目	TH-H0-H-2	TH-H1-H-2	TH-H2-H-2	CO-H0-H-2	CO-H1-H-2	CO-H2-H-2

表-3 最大入力速度の一覧 (単位: cm/s)

	タイプA	タイプB	タイプC	タイプD	タイプE	タイプF
1 体目	104.9	97.6	110.0	109.6	101.7	108.6
2 体目	111.6	111.6	96.2	90.8	91.1	96.1

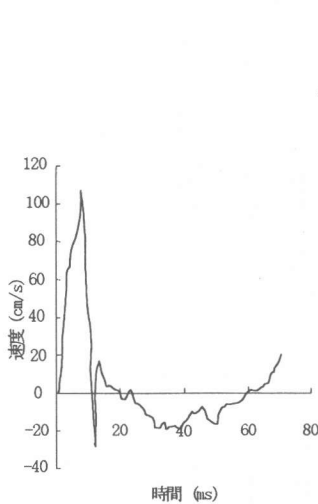


図-4 TH-H0-H-1の入力速度～時間関係

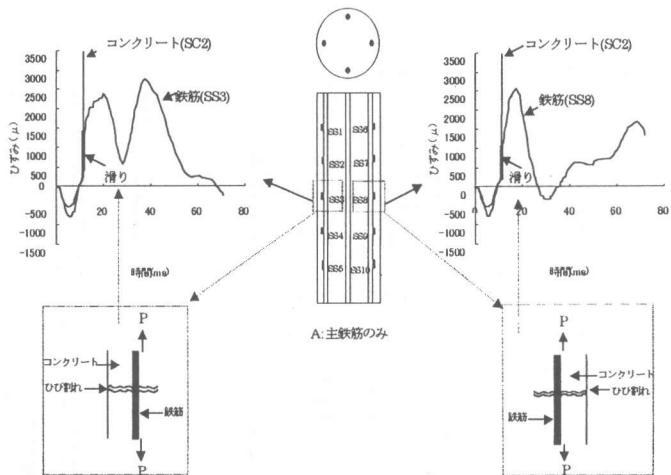


図-5 TH-H0-H-1のコンクリート(SC2)と鉄筋(SS3, SS8)のひずみ～時間関係

3. 実験結果と考察

3.1 時刻歴応答特性

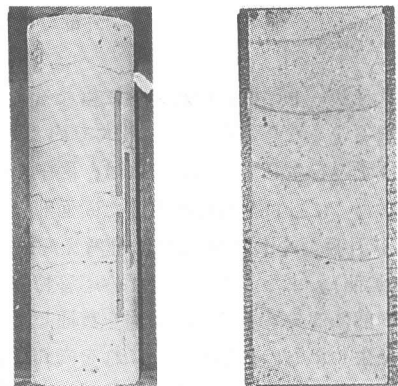
ここでは、時刻歴応答の一例として実験ケース‘TH-H0-H-1(タイプA, 1 体目)’の入力速度およびひずみ応答の特性について考察を行う。

(1) 入力速度～時間関係

図-4 に入力速度～時間関係を示す。これより、突き上げ開始後約 8ms で最大速度約 105cm/s を示し、その後急激に速度が低下して約 10ms で速度はゼロになっていることがわかる。すなわち、約 8ms で突き上げが急停止していることがわかる。表-3 に各実験ケースの最大速度の一覧を示す。

(2) コンクリートおよび鉄筋のひずみ～時間関係と外部および内部ひび割れの定義

図-5 はコンクリートと主鉄筋のひずみ～時間関係を重ねて示したものである。突き上げが急停



(a)外部ひび割れ (b)内部ひび割れ

写真-2 輪切り状ひび割れの例 (TH-H1-H-1)

止する約 8ms でコンクリートは最大圧縮ひずみ約 400μ を示し、その後、急激に引張側に転じ約 10ms で引張側に振り切れており、鉄筋のひずみ

表-4 主鉄筋のみタイプの最大圧縮ひずみおよび最大引張ひずみの比較(最大速度約 110cm/s)

供試体タイプ	区分	SS2~4	SS7~9	平均
タイプA (TH-H0-H-2)	圧縮	-940	-673	-807
	引張	1893	1153	1523
タイプB (TH-H1-H-2)	圧縮	-507	-653	-580
	引張	1080	1926	1503
タイプC (TH-H2-H-1)	圧縮	-587	-680	-634
	引張	1320	2126	1723

(単位: μ)

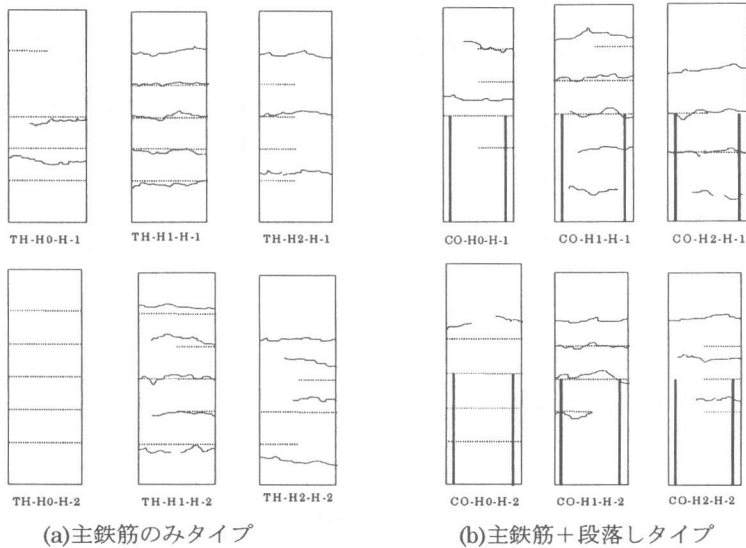


図-6 ひび割れ性状図

(~ :外部ひび割れ, :内部ひび割れ)

応答はコンクリートの振り切れ応答に重なるように瞬時に滑るような応答を示し、最大で約 2500 μ の引張ひずみを生じている。これは、図中の模式図に示すようにひび割れの発生した断面部分で鉄筋のみが引張力を負担するためと考えられる(写真-2 参照)。またこれらのひずみ応答特性から供試体内部に部分的あるいは断面を貫通したひび割れが発生したものと思われ、これを内部ひび割れと定義する。一方、実験結果の目視による観察では輪切り状ひび割れを明瞭に確認できなかったため、供試体にアセトンを浸透させ浮出たひび割れを外部ひび割れと定義し、これを図-6 のようにスケッチした。写真-2 に実験ケース‘TH-H1-H-1(タイプB, 一体目)’の輪切り状ひび割れの例を示す。

3.2 主鉄筋の最大圧縮および引張ひずみ

ここでは、帯鉄筋の配筋が最大圧縮ひずみおよび最大引張ひずみに与える影響を考察する。本実験供試体は、寸法が小さく境界条件の影響が大きいと思われるので、一様断面である主鉄筋のみタイプ(タイプA, B, C)の中央部のひずみ(SS2~4, SS7~9)に注目した。表-3 より最大入力速度がほぼ等しいケースを選定し、表-4 に各実験ケースの鉄筋ひずみ計測部の最大圧縮および引張ひずみとその平均値を示す。これより、帯鉄筋を配筋したタイプB, Cは帯鉄筋の無いタイプAより最大圧縮ひずみがやや小さいことがわかる。また最大引張ひずみは、帯鉄筋の有無による大きな差異はみられない。

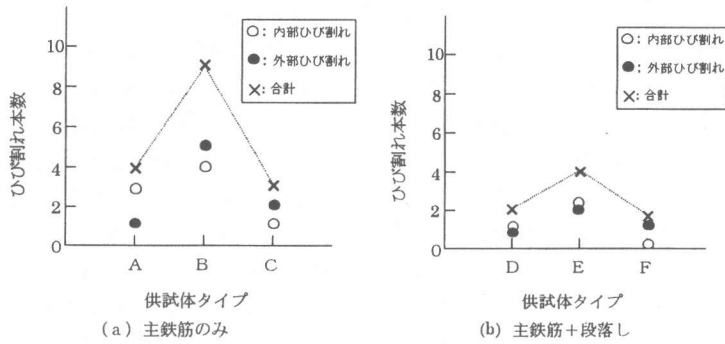
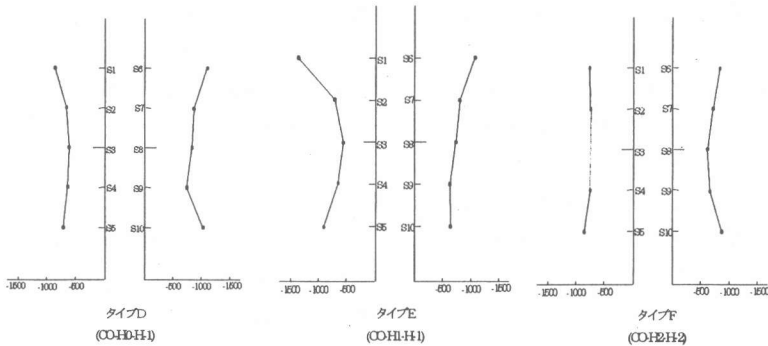
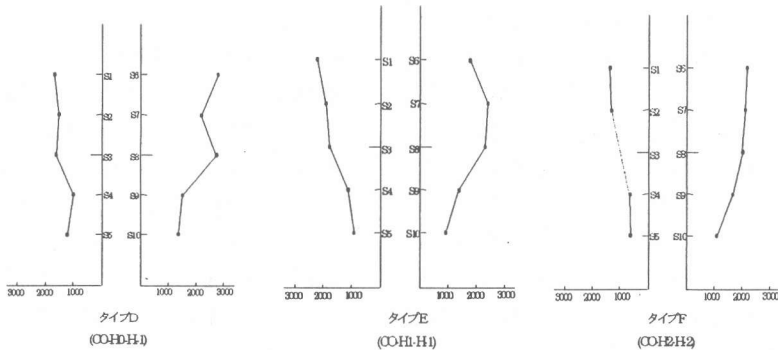


図-7 各供試体の外部ひび割れと内部ひび割れ本数
(輪切り状ひび割れ)



(a)最大圧縮ひずみ分布



(b)最大引張ひずみ分布

図-8 段落し供試体タイプの主鉄筋の最大圧縮および引張ひずみ分布
(..... (点線) は計測不良のため推定値を示す。)

3.3 ひび割れ性状

(1) 帯鉄筋有無の影響

図-6 には外部ひび割れと内部ひび割れを重ねたものを示す。内部ひび割れは、鉄筋ひずみを測定した断面において 2 本の鉄筋のひずみ応答がともに図-5 のようなひび割れ発生に伴う滑り応答

を示した場合を横断する点線（輪切り状ひび割れ）で示し、片側の場合のみは断面端から中央までの点線で表示した。また図-7 は外部ひび割れと内部ひび割れの本数を示したもので、ほぼ同じ入力速度で突き上げられた供試体タイプに分類した一例として入力速度が約 100cm/s の実験ケー

ス(主鉄筋のみタイプ: TH-H0-H-1, TH-H1-H-1, TH-H2-H-2, 主鉄筋+段落しタイプ: C0-H0-H-1, C0-H1-H-1, C0-H2-H-2)の結果である。これより、帯鉄筋の有無の影響については、帯鉄筋を疎に配筋したタイプB, Eは、帯鉄筋の無いタイプA, Dよりもひび割れが多く発生していることがわかる。タイプB(帯鉄筋5本)では、写真-2のように5本の外部ひび割れが確認でき、その位置は帯鉄筋近傍であった。これは、帯鉄筋を配筋することにより供試体内に不連続部が形成され、応力集中等によりひび割れが発生しやすいためと思われる。

(2)帯鉄筋間隔の影響

タイプCとF(帯鉄筋11本)は、タイプB, E(帯鉄筋5本)に比べて外部、内部ひび割れともに減少しており、供試体に帯鉄筋を配筋する場合は帯鉄筋数の増加により供試体の引張力に対する抵抗力が大きくなるような効果があると考えられ、輪切り状ひび割れを抑制するものと思われる。これより、衝撃的上下動に対しては帯鉄筋間隔が狭い方が有効であると考えられる。

(3)段落しの影響

図-7より段落しのあるタイプは、主鉄筋のみタイプに比べて外部と内部ひび割れの合計が少ないことがわかる。これは、供試体下部には段落し鉄筋が配筋されているためひび割れ発生が抑制されたものと思われる。しかし図-6より段落し部には必ずひび割れが発生していることが確認され、段落し鉄筋の配筋には注意を要すると考えられる。図-8には段落しタイプの主鉄筋の最大圧縮および引張ひずみの分布を示す。まず圧縮ひずみ分布では、タイプE(帯鉄筋5本)はタイプD(帯鉄筋無)よりも供試体上下部がラップ状に広がるような分布を示している。またタイプF(帯鉄筋11本)では、全体的にひずみ値が小さくなり、分布形状もややばらつきが小さくなっている。一方、引張ひずみ分布は、全てのタイプにおいて圧縮ひずみ分布よりも段落し鉄筋のある部位のひずみが明瞭に小さく、これは、段落し鉄筋の存在により供試体下部のひび割れ発生が抑制された結果と対応している。また帯鉄筋の配筋による分布形状の変化は圧縮ひずみ分布とほぼ同様の傾向にあることがわかる。

4. 結言

本研究の成果をまとめると以下ようになる。

- (1) 帯鉄筋の有無の影響については、帯鉄筋を疎に配筋したタイプB, Eは、帯鉄筋の無いタイプA, Dよりもひび割れが多く発生した。これは、帯鉄筋の配筋により供試体内に不連続部が形成され、応力集中等によりひび割れが発生しやすいためと思われる。
- (2) 供試体に帯鉄筋を配筋する場合は、帯鉄筋数の増加により供試体の引張力に対する抵抗力が大きくなるような効果があると考えられ、輪切り状ひび割れを抑制するものと思われる。これより、衝撃的上下動に対しては帯鉄筋間隔が狭い方が有効であると考えられる。
- (3) 段落しタイプでは、供試体下部に段落し鉄筋が配筋されているためひび割れ発生が抑制されていることが確認された。

謝辞

本実験を行うにあたり、供試体を提供して下さった(株)日本ゼニスパイプ塩見昌紀氏、谷川庸造氏ならびに(株)宮地鉄工所太田貞次氏に対し、心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 別府万寿博, 香月智, 石川信隆, 宮本文穂: 衝撃突き上げ装置によるRC橋脚模型の輪切り状ひび割れに関する実験的研究, 土木学会論文集, No.577/I-41, pp.165-180, 1997.10.
- 2) 別府万寿博, 香月智, 石川信隆, 佐野正: 衝撃的上下動を受けるRC橋脚の輪切り状ひび割れの再現と鋼板巻立て補強に関する一考察, コンクリート年次論文報告集, Vol19, No2, pp.279-284, 1997.6.
- 3) 道路橋示方書・同解説, V耐震設計編, 日本道路協会, 平成8年12月.