

論文 劣化した RC 床版のせん断耐力低下について

中村 修*¹ ・ 久野公德*² ・ 松下博通*³

要旨：本研究は、RC床版のように2方向に主鉄筋を配置したRC構造物が塩害などにより腐食した場合のひびわれパターンを実験的に求め、さらにひびわれパターンによるせん断耐力の低下についても検討したものである。その結果、主鉄筋がXY直角2方向に配置された場合には、X(Y)方向の鉄筋の腐食により発生するひびわれは、Y(X)方向のせん断耐力低下につながることを示した。これらの結果より、鉄筋腐食によりRC床版のように2方向に主鉄筋が配置されている場合には、曲げ耐力の低下のみでなく、押抜きせん断耐力も低下することに留意しなければならないことを明らかにした。

1. まえがき

近年、塩害を受けたコンクリート構造物の劣化損傷の事例が多く報告されている。一般に塩害による構造物の劣化は、鉄筋の長さ方向に、ひびわれが入ることによる曲げ耐力の低下が論じられているものが多い。しかしながら、港湾施設における栈橋RC床版においては荷役機械の大型化に伴い劣化部材の押し抜きせん断耐力低下と思われる破壊事例が発生している。そこで、筆者らは塩害により劣化した実際の栈橋RC床版から梁供試体を切り出し、載荷試験を実施した。¹⁾ その結果、載荷位置によっては明らかにせん断耐力が低下しているものが確認された。その原因は、梁の長さ方向に直角な方向の鉄筋の腐食膨張により斜め方向のひびわれが発生しており、この斜めひびわれが、載荷時のせん断耐力の低下を引き起こしたものと考えられる。従って、これらに注目し、その発生原因を確認するため、静的破砕剤を用い供試体に鉄筋腐食による発生ひびわれと同様の人工ひびわれパターンの発生を再現し²⁾ そのひびわれパターンを観察し、劣化RC床版のせん断耐力低下原因を明らかにするものである。

2. 供試体形状および試験方法

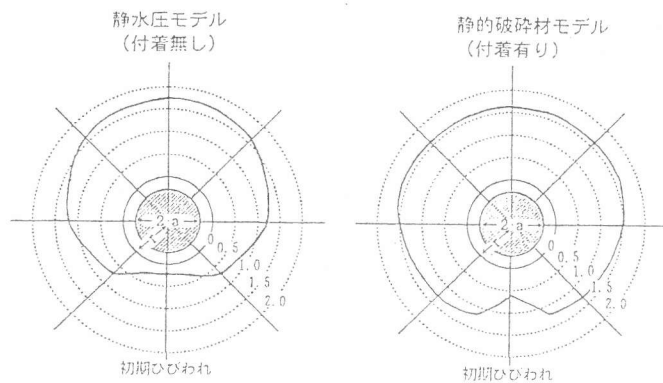
コンクリート中の鉄筋が腐食する条件は種々あるが、たとえ厳しい塩分環境下であっても鉄筋が著しい腐食を呈し、コンクリート部材が膨張劣化するにはかなり長い期間が必要となる。よって、通常の塩分環境下での暴露試験方法では鉄筋腐食後のひびわれパターンを解明するには長い期間の実験が必要となり、短期間でその全容を調べることは非常に困難である。短期間でひびわれパターンの確認が可能な実験方法としては、供試体に、鉄筋に相当する孔を設け、その孔に内圧を加える方法がある。この加圧方法には、静水圧を利用する方法と静的破砕剤を利用する方法の2種類が考えられているが、それぞれの加圧方法により、ひびわれパターンは、異なっている。すなわち、金子ら³⁾によると、孔に内圧を加えた場合の円周方向の応力分布は、初期ひびわれの発生までは、静水圧的で両者の間に差はないと考えられるが、初期ひびわれの発生後は、静的破砕剤の場合、水和に伴い固体化することにより、初期ひびわれ発生後、内圧を作用させる圧力媒

* 1 ㈱ピー・エス九州支店 技術部開発課 (正会員)

* 2 ㈱ピー・エス九州支店 技術部開発課 工修 (正会員)

* 3 九州共立大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

体が剛性変化することでひびわれ近くの孔壁境界を2重境界と考え、内部境界面と外部境界面との間の摩擦則を考慮する2領域解析モデルを想定することで、加圧孔と破砕剤の間に付着による



$r/a=1.16$ (r:加圧孔の中心から応力算定円までの距離
a:加圧孔の半径)

図-1 孔壁周囲の円周方向応力の分布

るのに対し、静的破砕剤モデルの場合には、初期ひびわれ位置から90°～270°の範囲でほぼ一定になる事が確認されている。よって、鉄筋のように圧力媒体が弾性を有する場合には、コンクリートとの間に摩擦が生じているため、鉄筋腐食によるひびわれパターンを調べるには、静的破砕剤を使用するのが適当である。本試験では、鉄筋の腐食膨張作用により生じるひびわれパターンを再現する為に、静的破砕剤を用いて人工的にひびわれを生じさせ、その発生パターンを調べることにした。試験供試体は、RC床版のように直角2方向に鉄筋が配置されている場合を想定し、供試体の長さ方向に鉄筋を配置し、その直角方向には腐食鉄筋を想定した破砕剤の注入孔を設けるものとした。ひびわれの発生パターンに影響を与える因子としては、腐食鉄筋の配置位置、鉄筋径、かぶり、長さ方向の鉄筋の配置をとりあげ、表-1に示すように静的破砕剤の注入孔の位置、孔径、かぶりおよび鉄筋の長さ方向の配置をかえた8種類の供試体を作製した。作製供試体の形状寸法を図-2～6に示す。

摩擦力が生じる。このため静水圧による場合とは、応力分布に差が生じる。静水圧と静的破砕剤において、両者の孔壁周囲の円周接線方向の応力の分布を応力算定円からの距離で表すと図-1のようになる。初期ひびわれ発生後の円周方向の応力度は静水圧モデルでは初期のひびわれ位置から180°の位置にピークを有す

表-1 影響因子の組み合わせ

配筋供試体名	破砕剤径 (mm)		主筋かぶり (mm)		破砕剤注入位置 (図参照)
	13	19	43.5	73.5	
単筋 A	◎		◎		I型
B		◎	◎		I型
C	◎			◎	I型
D		◎		◎	II型
E		◎	◎		II型
複鉄筋 F	◎		◎		III型
G	◎		◎		IV型
H	◎		◎		V型

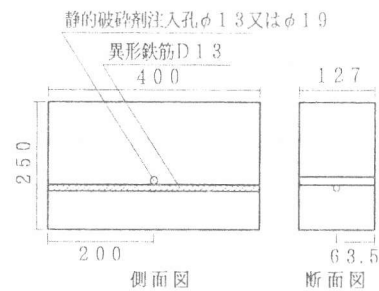


図-2 I型(単鉄筋、主筋上縁タイプ)

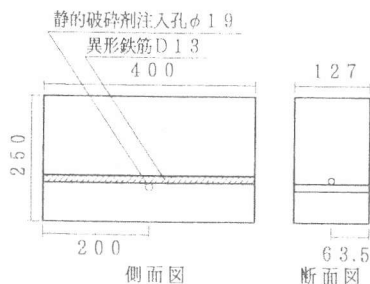


図-3 II型(単鉄筋、主筋下縁タイプ)

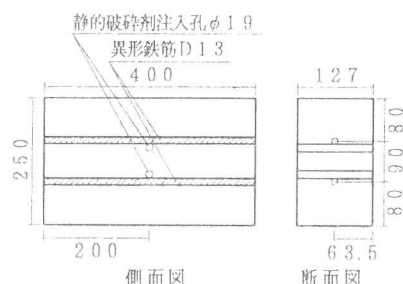


図-4 III型(複鉄筋タイプ)

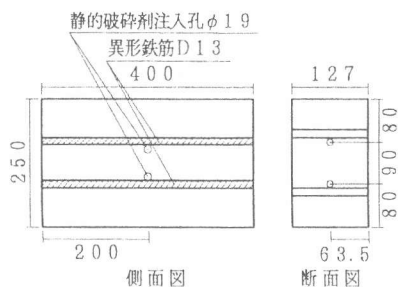


図-5 IV型（複鉄筋タイプ）

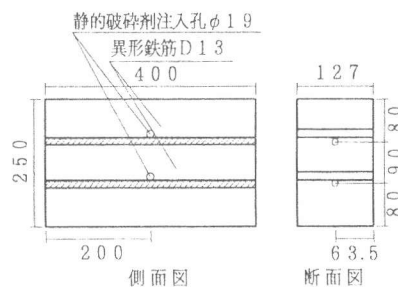


図-6 V型（複鉄筋タイプ）

また、小型供試体と同様に、静的破砕剤にて人工ひびわれを発生させた梁供試体を製作し、せん断載荷試験を実施することにより、部材のせん断耐力の低下についても検討した。なお、塩害によって劣化した床版に図-7のような2方向の鉄筋が配置されている場合、長手方向に直角なY軸方向の鉄筋腐食によりX軸方向の斜め方向に発生したひびわれがせん断耐力低下の原因になるものと予想される。そこで本実験ではこれらのひびわれパターン形成の原因に着目し、図-8に示す供試体を作製し検討を行った。梁供試体はスパン $l = 100$ cmの単純支承による中央1点載荷とした。載荷荷重は $P = 1.0$ t 刻みの単調漸増荷重を繰り返し、ひびわれの進展と破壊性状を合わせて観察した。人工ひびわれの発生に用いる静的破砕剤は、原田ら²⁾の研究によると、その膨張圧特性は、気温、拘束度などの外部環境に大きく影響を受け、水/破砕剤比が小さい程大きな膨張圧を呈するとしている。よって、外

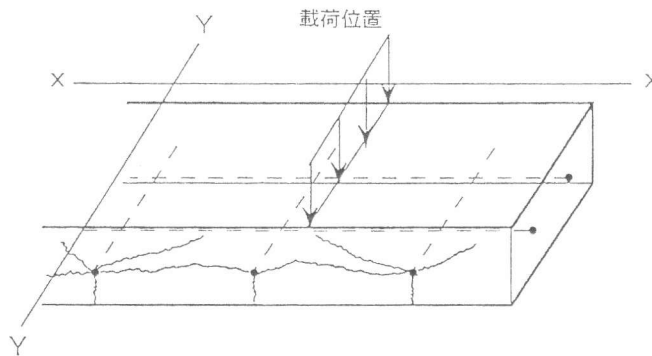


図-7

気温、湿度、練混ぜ水温等により膨張速度が異なるため、恒温恒湿養生室内にて注入することとした。破砕剤の注入時期は、コンクリートの圧縮強度が 240 kgf/cm^2 以上になった時点とし、予備実験より膨張速度が比較的緩やかとなった水/破砕剤比35%配合にて人工ひびわれ発生促進試験を実施することとした。この配合は、コンクリートの初期ひびわれの発生が注入後12~24時間で発生が始まる配合である。使用鉄筋はD13(SD30)、使用静的破砕剤はO社製(夏用)である。また、コンクリートの使用材料ならびに配合を表-2に示す。材令28日における圧縮強度は 322 kgf/cm^2 、引張強度は 35 kgf/cm^2 、弾性係数は $3.25 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比は0.19である。

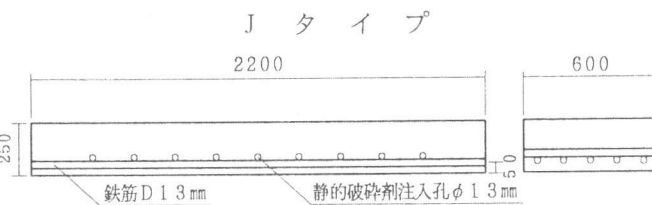


図-8

表-2 コンクリートの使用材料および配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	水セメント 比 W/C(%)	粗骨材率 (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤*4 (cc)
					水	セメント*1	細骨材*2	粗骨材*3	
13	8	55	45	4.5	166	302	796	1025	755

*1: 普通ポルトランドセメント(比重3.15)
*3: 岡垣産砕石 (比重2.69)

*2: 博多湾沖産海砂(比重2.55)
*4: AE剤

3. 実験結果

3-1 小型供試体のひびわれ発生パターン

本試験では、腐食鉄筋を想定して静的破碎剤の注入孔を設けることにより、注入孔の位置、孔径、かぶりをかえた8種類(表-1参照)の供試体を各々3体ずつ作製し、ひびわれ発生パターンの再現確認を行った。その結果、ひびわれの発生パターンは、各タイプ同一3供試体ともほぼ類似傾向のひびわれ発生パターンを示した。ここに各供試体の人工ひびわれ発生パターンの代表例を図-9に示す。図中に示した数字はその時間までのひびわれの進展を示したものである。

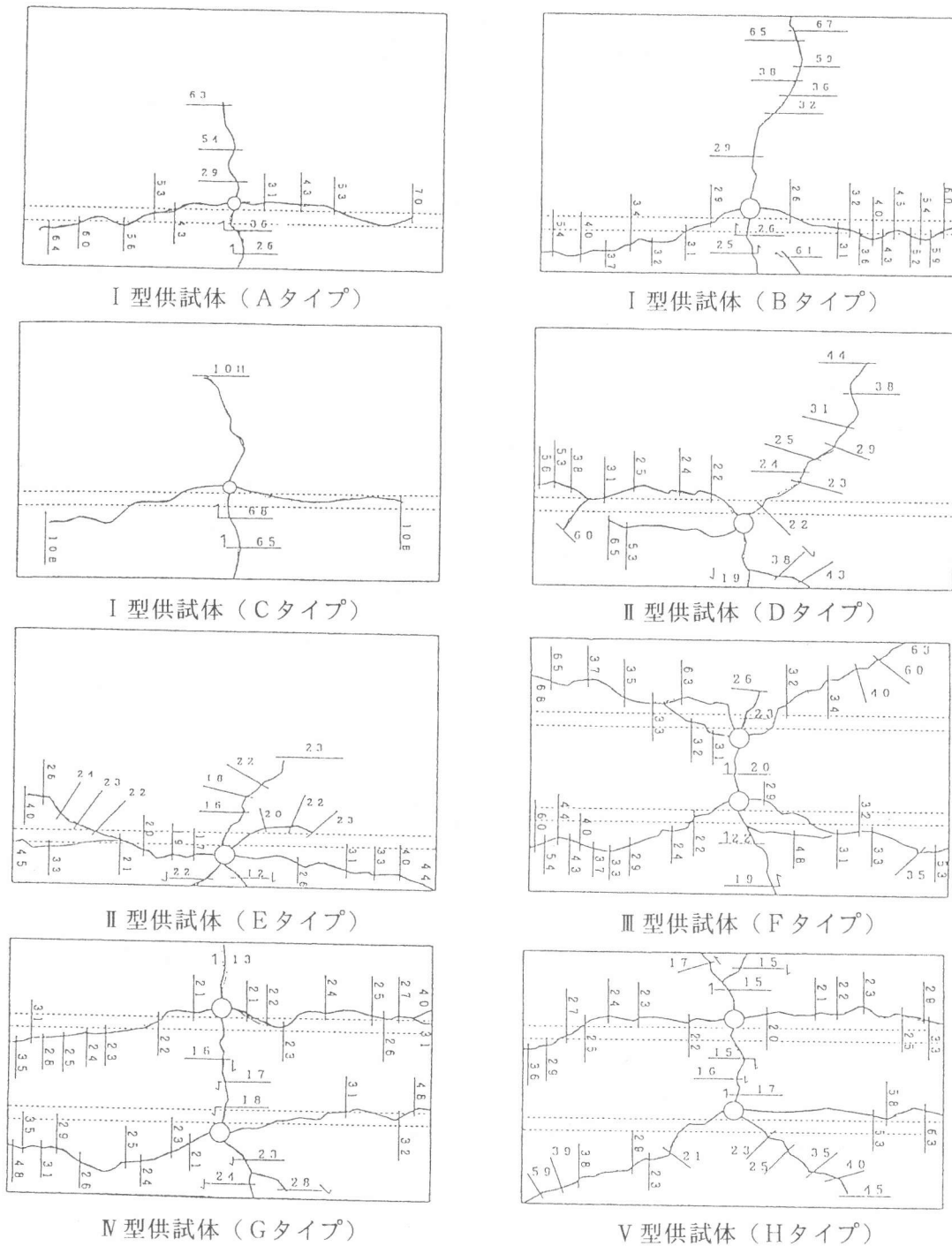


図-9 各タイプの人工ひびわれパターン例

これらの結果より、いずれも初期ひびわれは、鉄筋かぶりの最短の自由縁部方向に発生しているが、その後のひびわれの進展方向は、供試体のタイプによって異なっている。各供試体のひびわれパターンを比較すると以下の傾向がみられる。

- ① A 供試体と B 供試体を比較すると、静的破砕剤注入孔の直径が大きい B 供試体ほどひびわれの進展速度は、速くなっており、配力鉄筋の腐食の程度が同一ならば配力鉄筋径が大きいほどひびわれ進展速度が大きくなることが予想される。
- ② A 供試体と C 供試体を比較すると、かぶりが大きい C 供試体の方が、ひびわれの進展速度は遅くなっており、腐食程度が同一ならば鉄筋かぶりが大きいほど腐食劣化の進行が抑制される。
- ③ B 供試体と E 供試体を比較すると、B 供試体の様な、破砕剤注入孔が鉄筋より上側にある場合 (I 型) は、鉄筋に沿ってひびわれが、進展しているが、E 供試体のように静的破砕剤注入孔が主鉄筋より下にある場合 (II 型) は、斜め方向にひびわれが進展する傾向にある。
- ④ F 供試体 (複鉄筋タイプ) は、II 型供試体と同様に斜めひびわれが進展する傾向にある。
- ⑤ G 供試体 (複鉄筋タイプ) は、I 型供試体と同様に鉄筋に沿ったひびわれが発生する傾向にある。
- ⑥ H 供試体 (複鉄筋タイプ) は、上側の注入孔が、I 型の特徴を、下側の注入孔が、II 型の特徴を持っている。

3-2 梁供試体のひびわれパターンとせん断耐力

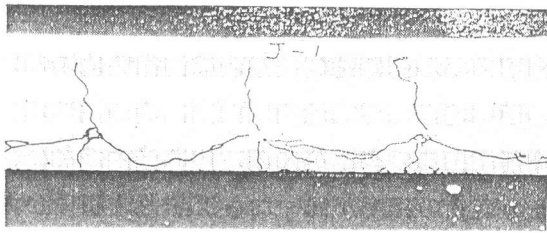
梁供試体の人工ひびわれ発生パターン

表-3 載荷試験結果一覧

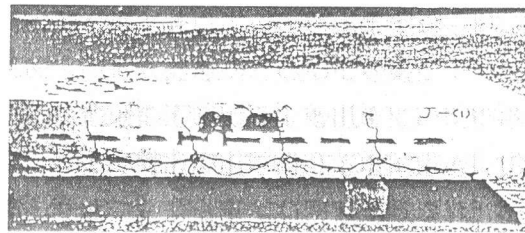
は写真-1, 2 に示す様に小型供試体の A タイプの人工ひびわれパターンと同様に静的破砕剤注入孔の上下方向へのひびわれと鉄筋に沿ってのひびわれ進展が支配的となっている。せん断耐力の低下は A タイプより D タイプの方が斜め方向にひびわれが進展するものが著しいと考えられたが、ここでは A タイプ配筋におけるせん断耐力低下の試験結果について検討を行った。また、これら人工ひびわれの入った梁供試体 (J タイプ) と、健全供試体 (K タイプ) のせん断試験結果を対比し表-3 に示した。

供 試 体 名		せん断耐力 (tf)	健全供試体 (K タイプ) のせん断耐力 \bar{S} (tf)	$\frac{S}{\bar{S}}$
J タイプ	J-1	10.98	12.75	0.86
	J-2	10.01		0.78
	J-3	10.33		0.81
	J-4	10.96		0.86
	J-5	11.08		0.87
	J-6	10.68		0.84

以上より、たとえ A タイプの様に主として上下方向にひびわれが進展したものであれ、ひびわれ発生供試体は健全な全断面有効な供試体と比較し、せん断耐力が13~22%程度低下することが確認された。載荷試験後の供試体のひびわれ発生状況を写真-1, 2 に示すが、最終破壊に至ったせん断ひびわれは、いずれも人工的に発生させたひびわれ先端部から進展しており、人工ひびわれの発生が斜めひびわれの進行を助長し、せん断耐力の低下の原因になっていることが推測される。

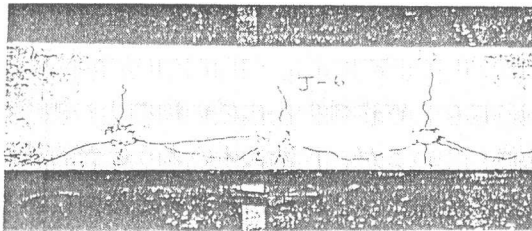


載 荷 前

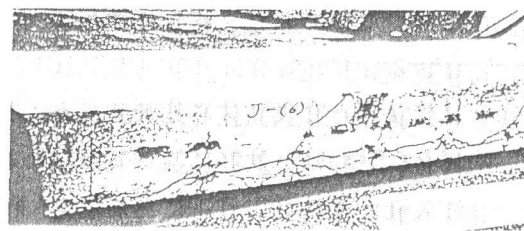


載 荷 後

写真-1



載 荷 前



載 荷 後

写真-2

4. まとめ

静的破砕剤を用いて、2方向に配筋された模型RC梁に人工的にひびわれを発生させる室内実験方法で、梁直角鉄筋方向に配置された注入孔の位置、直径およびかぶりが、初期ひびわれの発生時期、ひびわれのパターンに影響することが明らかになり、しかも、鉄筋の配置方法によりその程度は異なってくるが、RC床版のせん断耐力の低下に結び付くひびわれの発生、伝播があることが確認できた。栈橋RC床版の劣化調査において確認された斜め方向のひびわれが、Ⅱ型供試体、Ⅲ型供試体及びV型供試体で確認された。すなわち、塩害による劣化RC床版は、曲げ耐力のみならず、せん断耐力も低下することが予想される。このため、塩害により劣化したRC床版の補修では、曲げ耐力の増大をはかるのみでなく、せん断耐力の低下についても十分な配慮が必要であると考えられる。なお、今後はさらに鉄筋のモデル化等を進め、実験的な研究を進めて行くつもりである。

[謝辞]

最後に、本実験にあたり、コンクリート研究生の人見伸隆君および技能員安藤忠夫氏に多くの労を頂いた。ここに関係各位に厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 松下博通・小笹博昭・中村修・久野公徳：劣化した栈橋RC床版のせん断耐力低下についての一考察、土木学会第47回年次学術講演概要集第5部、PP800-801、1992.9
- 2) 原田哲夫・出光隆・渡辺明：静的破砕剤を用いたコンクリートの解体に関する基礎的研究 土木学会論文集No.360/V-3、PP61-70、1985.8
- 3) 金子勝比呂・大塚浩・原田哲夫・稲葉力：岩石の静的破壊に関する数値解析的検討、資源・素材 1993年(春季大会)
- 4) 松下博通・笹嶋博・中村修・久野公徳：人工ひびわれ法による栈橋RC床版の劣化機構についての一考察、土木学会第48回年次学術講演概要集第5部、PP284-285、1993.9