

## Study on Influence of Multiple Anchors and Cracks on Axial Tensile Capacity of Post-installed Mechanical Anchors

Tomohiro MIKI\*1, Hiroaki ISHIZUKA\*2 and Manabu KOBAYASHI\*3

**要旨：**金属系あと施工アンカーにおいて、群効果とひび割れがアンカーの軸引張耐力に与える影響を評価するため、RC 供試体を用いて、曲げ荷重を行いながら、2 本同時に引張試験を実施した。2 本同時引張試験により、アンカーの設置間隔（アンカーピッチ）が最大耐力、荷重変位関係に与える影響を把握した。また、RC 小型供試体ならびに RC 梁供試体を用いた荷重試験により、アンカーピッチが破壊時のひび割れ、最大耐力に影響を与えることが確認できた。

**キーワード：**金属系アンカー、軸引張耐力、ひび割れ、群効果、アンカーピッチ

### 1. はじめに

あと施工アンカーは、母材に付帯設備などを取り付ける際に使用するものであり、付帯設備に作用する力はあと施工アンカーを介してコンクリートに確実に伝達される必要がある。本研究では金属系アンカーを対象とする。このうち、金属拡張アンカーは、穿孔した孔が定着部で拡張されることで、支圧力と摩擦力によって固着される<sup>1)</sup>。一方、金属拡張アンカーは、アンカー先端の拡張部を孔壁に押しつけて摩擦力を高め、支圧力によって固着される<sup>1)</sup>。

あと施工アンカーは、土木構造物において様々な環境で使用されるため、それぞれの設置環境に応じた耐力の正確な評価は不可欠となる。本研究では、RC 小型供試体と RC 梁供試体を用いて、金属拡張アンカーと金属拡張アンカーを対象とした引張試験を実施した。そのとき、あと施工アンカー2 本同時に引張力を作用させ、隣り合うアンカーの設置間隔によって影響を与え合う群効果<sup>2), 3)</sup>、ならびにひび割れの存在が引張耐力に与える影響<sup>4)</sup>を明らかにすることを目的とした荷重試験を実施した。

### 2. 実験方法

試験には、RC 小型供試体 1 体と RC 梁供試体 2 体を使用した。RC 梁供試体は、断面 400 mm×200 mm、長さ 2000 mm である。配筋図は図-1 に示す。一方、RC 小型供試体は、寸法 400 mm×200 mm×400 mm であり、配筋は RC 梁供試体と同様とし、断面上下に鉄筋 D19 を 3 本ずつ、スターラップとし D6 を 3

本用いた。全ての供試体で同じ配合のコンクリートを用いた。円柱供試体を用いた強度試験より、圧縮強度 36.4 N/mm<sup>2</sup>、静弾性係数 27600 N/mm<sup>2</sup>、引張強度 2.69 N/mm<sup>2</sup>であった。

RC 梁供試体は、スパン中央の曲げひび割れ幅が 0.1 mm 程度となる 45 kN の曲げ荷重を載荷した状態で、梁の曲げ圧縮側、曲げ引張側にそれぞれ設置したあと施工アンカーを対象として引張試験を行った。アンカー設置位置は、図-2、図-3 に示すように間隔 200 mm のときにアンカー先端から 45 度の角度で仮定したコーン状破壊面が重ならない位置であり、間隔 100 mm では一部破壊面が一部重なるような配置とした。本実験では、図-2、図-3 中に示す上下 2 本のあと施工アンカーを同時に引張ることで、アンカーピッチの違いによる群効果の影響を確認した。図-4 に示すように、2 本同時に引張試験を行った。荷重中、アンカー縁端位置の鉛直方向変位を計測した。

RC 小型供試体は RC 梁と同様の配筋としたが、外力を作用させずに異なるアンカー種類（図-5）を用いて、アンカーの設置距離を変化させた。RC 梁供試体では金属拡張アンカーのみを用いた。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 耐力算定式による計算

軸引張力に対するあと施工アンカー部の設計降伏耐力 $T_{yd}$ は、式(1)により求めた。

$$T_{yd} = K_t T_y / \gamma_b \quad (1)$$

ここで、 $T_y$ ：降伏耐力、 $K_t$ ：使用期間の長さの影響

\*1 神戸大学 大学院工学研究科市民工学専攻 准教授

\*2 神戸大学 工学部市民工学科

\*3 (株) ケー・エフ・シーファスナー事業部耐震営業部 技術担当

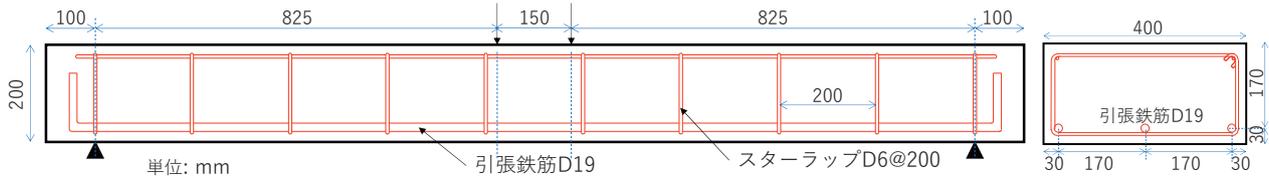
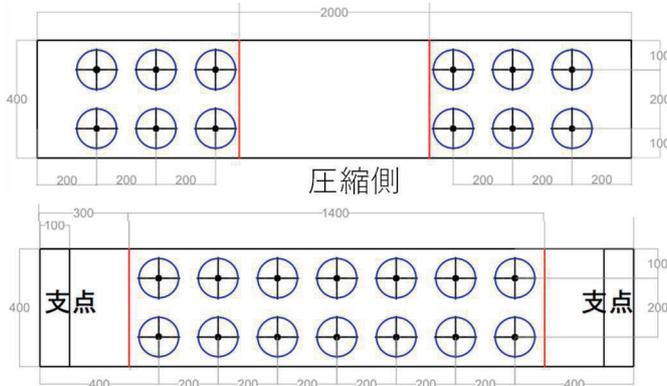
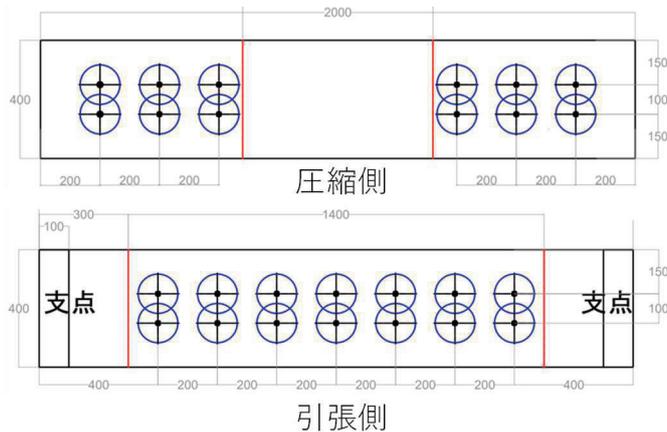


図-1 RC 梁供試体の形状、配筋と荷重条件



(a) アンカー間隔 200 mm



(b) アンカー間隔 100 mm

図-2 RC 梁供試体におけるアンカー設置位置

を表す係数（短期使用の場合 1.0）， $\gamma_b$  : 1.1 とした。  
また，降伏耐力 $T_y$ は，式(2)により求めた。

$$T_y = a_0 f_{ysd} \quad (2)$$

ここで， $a_0$  : アンカーボルトの最小断面積 ( $\text{mm}^2$ )， $f_{ysd}$  : アンカーボルトの設計引張降伏強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

軸引張力に対するあと施工アンカーの設計コンクリートコーン状破壊耐力 $T_{cd}$ は，式(3)より求めた。

$$T_{cd} = K_t \alpha A_c \sqrt{f'_c} / \gamma_b \quad (3)$$

ここで， $K_t$  : 使用期間の長さの影響を表す関数（短期使用の場合 1.0）， $f'_c$  : 母材のコンクリートの圧縮強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )， $A_c$  : 母材のコーン状破壊面の有効水平投影面積 ( $\text{mm}^2$ )， $\alpha$  : あと施工アンカーの種類を表す係数（金属系アンカーは 0.31）， $\gamma_b$  : 1.6 とした。

表-1 に算定結果をまとめて示す。設計降伏耐力は  $T_{yd} = 34.8 \text{ kN}$ ，設計コンクリートコーン状破壊耐力は，拡張アンカーでは  $T_{cd} = 9.4 \text{ kN}$ ，拡底アンカーでは  $T_{cd} = 14.0 \text{ kN}$  となった。

- : アンカー設置位置
- : コーン状破壊想定部分

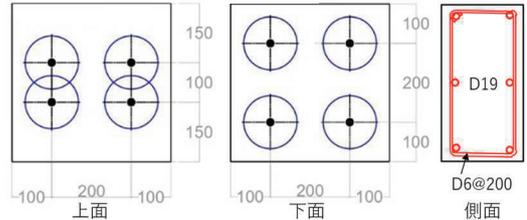


図-3 RC 小型供試体におけるアンカーの設置位置と配筋図

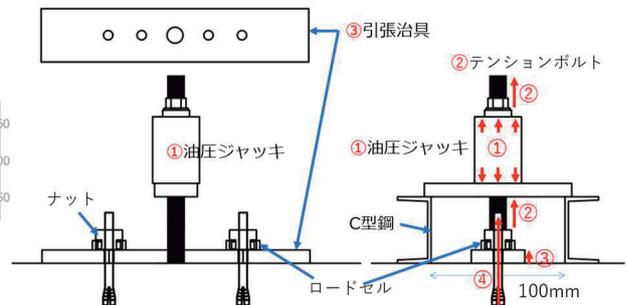


図-4 アンカー2本同時引張試験の様子



(a) 金属拡張アンカー (b) 金属拡底アンカー  
図-5 使用した金属系アンカー

### 3.2 RC 小型供試体

アンカーの間隔の違いによる最大引張荷重について表-2 にまとめる。ここでは，油圧ジャッキによる引張荷重値を最大荷重合計とし，各アンカーに設置した小型ロードセルによる荷重値と合わせて示す。計測結果をみると，2 台の小型ロードセルによる計測値とジャッキによる荷重値は若干異なるが，ほぼ均等に引張力が作用していたことがわかる。

2 種類のアンカーにおいては，全ての計測結果が間隔 200 mm の最大荷重値と比べて間隔 100 mm では約 0.6 倍となり，アンカーが近づくことでそれぞれに影響を及ぼし合う，つまり群効果の影響があることがわかった。

表-1 あと施工アンカー1本の引張耐力算定結果

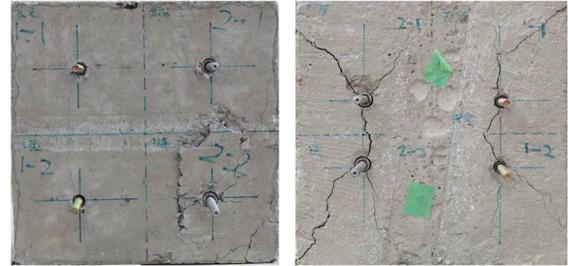
		拡張アンカー	拡底アンカー
$T_{yd}$	kN	34.8	34.8
$T_y$	kN	38.3	38.3
$a_o$	mm <sup>2</sup>	84.3	84.3
$f_{ysd}$	N/mm <sup>2</sup>	454.5	454.5
$f_{ys}$	N/mm <sup>2</sup>	500	500
$T_{cd}$	kN	9.4	14.0
$\alpha$		0.31	0.31
$A_c$	mm <sup>2</sup>	8048.8	12018.5
$l_e$	mm	42.7	48
$l$	mm	60	50
$D_a$	mm	17.3	31.7
$\sqrt{f_{cd}}$		6.03	6.03
$f_{cd}$	N/mm <sup>2</sup>	36.4	36.4
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	31200	31200
$f_c$	N/mm <sup>2</sup>	36.4	36.4
$\gamma_c$		1.0	1.0
$\min(T_{yd}, T_{cd})$		$T_{cd}$	$T_{cd}$
破壊モード		コーン状破壊	

RC 小型供試体を対象としたアンカーの引張試験によって得られた荷重-変位関係を図-6に示す。この結果から、金属拡張アンカーでは、最大荷重以降も耐力を維持し続ける傾向にあるが、拡底アンカーにおいては、最大荷重以降に耐力が急激に減少する挙動であった。図-6(c)のように鋼製器具を用いて2本同時に引張力を作用させていることから、コンクリート供試体表面の不陸の影響で変位が負の方向に推移する結果も見られた。また、本実験では荷重前に軸力を導入しておらず、拡底アンカーでは図-6(d)のように荷重初期に変位が生じた場合もあった。

RC 小型供試体の試験後の様子を図-7に示す。破壊モードは拡底アンカーのアンカー2(図-7(a)右下)のみがコーン状破壊、それ以外はコンクリートの割

表-2 実験結果 (RC 小型供試体)

アンカー種類	アンカー間隔(mm)	最大荷重合計(kN)	アンカー1最大荷重(kN)	アンカー2最大荷重(kN)
拡張	200	88.1	51.5	45.7
	100	56.2	26.1	31.5
拡底	200	100.3	55.9	50.7
	100	62.6	29.1	30.9

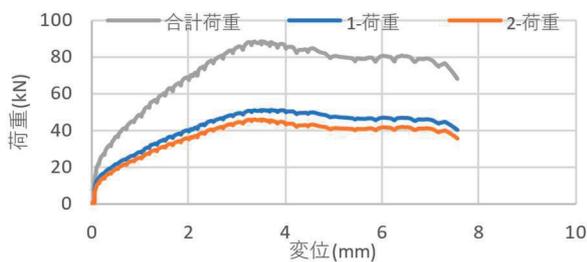


(a) 間隔 200 mm (b) 間隔 100 mm

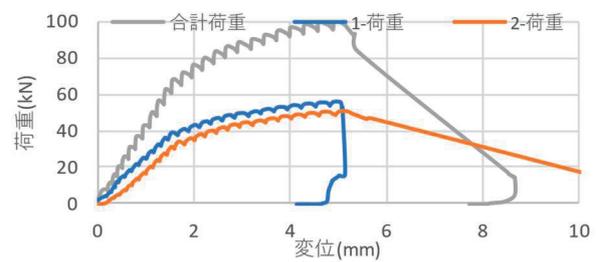
図-7 試験後の様子 (RC 小型供試体)

裂破壊という結果が得られた。それぞれの試験後のひび割れ性状を比較すると、間隔 200mm に発生したひび割れに比べ、間隔 100mm に発生したひび割れの幅が大きくなっている。また、間隔 100mm の場合、アンカーの種類によらず、2つのアンカーから発生したひび割れが繋がっていることがわかる。そのため、アンカーの間隔が近い場合、引張試験時に2本のアンカーの間にひび割れが引張荷重の低い時点で発生することによって、荷重が大きくなるにつれて、そのひび割れ幅が大きくなり、耐力の低下が生じたと考えられる。また、アンカーから母材コンクリート端部につながるようなひび割れが進展していることもわかる。

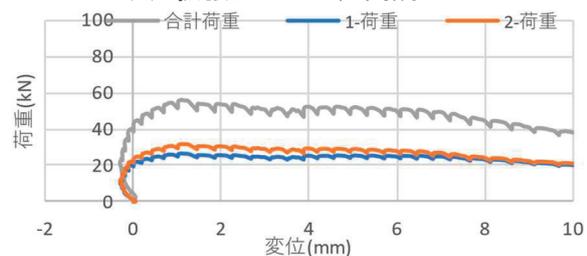
一方で、間隔 200mm の拡張アンカーでも、2本の



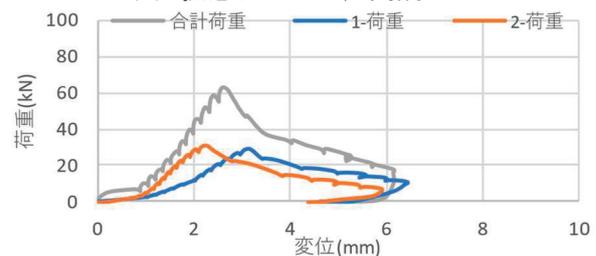
(a) 拡張アンカー, 間隔 200mm



(b) 拡張アンカー, 間隔 200mm



(c) 拡張アンカー, 間隔 100mm



(d) 拡張アンカー, 間隔 100mm

図-6 引張荷重-変位関係 (RC 小型供試体)

表-3 実験結果 (RC 梁供試体)

位置		間隔200mm			間隔100mm		
		最大荷重合計(kN)	アンカー-1最大荷重(kN)	アンカー-2最大荷重(kN)	最大荷重合計(kN)	アンカー-1最大荷重(kN)	アンカー-2最大荷重(kN)
圧縮側	1	59.4	27.0	19.3	78.1	26.0	28.6
	2	79.5	30.3	27.6	79.6	33.9	29.5
	3	71.3	27.3	22.3	78.8	29.1	26.0
	4	79.9	31.7	39.2	84.0	30.2	42.0
	5	-	-	-	80.0	33.5	40.8
	6	75.2	36.6	30.0	71.6	19.4	36.0
引張側	1	-	-	-	78.5	29.4	30.6
	2	80.3	34.2	26.6	79.2	28.8	34.4
	3	80.4	26.8	30.3	71.3	35.5	27.1
	4	74.0	26.5	26.7	69.1	30.0	30.7
	5	79.3	26.9	42.1	77.3	39.6	32.4
	6	79.0	33.2	41.4	79.0	38.4	30.8
	7	80.1	27.9	44.8	79.8	40.3	34.1

アンカーを結ぶひび割れが発生しているが、ひび割れが発生した時と最大荷重に至る時との時間の差があまりなく、試験後のひび割れ幅が大きくなっていないため、2本のアンカーが影響を及ぼし合わず、十分な引張耐力が確認でき、群効果の影響が小さかったと考えられる。

### 3.3 RC 梁供試体

RC 梁供試体に設置したあと施工アンカーの引張試験前の曲げ荷重を受けた RC 梁のひび割れ性状を図-8 に示す。同一の曲げ荷重を作用させたが、アンカー間隔が 200 mm の場合、RC 梁の引張下面に生じた曲げひび割れ幅は 0.1 mm 以下であった。一方、間隔 100 mm の供試体では、スパン中央に設置したアンカーから軸直角方向に連続的に曲げひび割れが発生していることが確認できた。

図-9 に曲げ荷重を受ける RC 梁供試体を対象としたアンカーの引張試験によって得られた荷重-変位関係

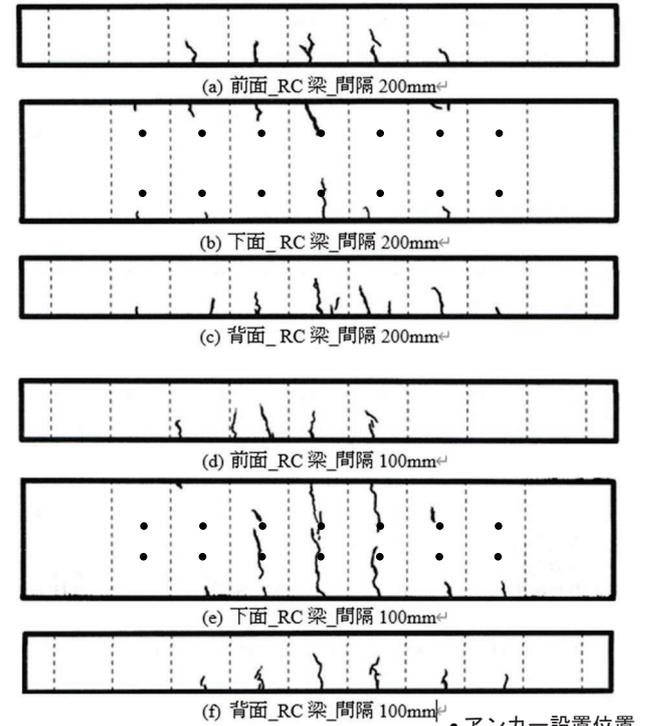
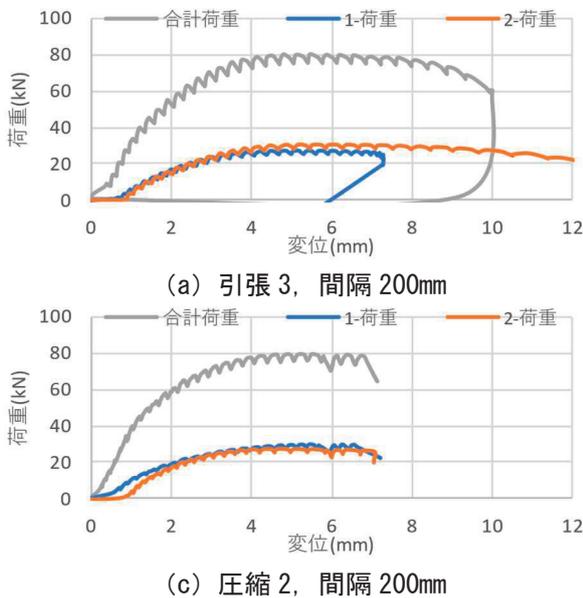


図-8 曲げ荷重による曲げひび割れ (RC 梁供試体)

関係を示す。また、荷重試験の結果のまとめを表-3 に示す。破壊モードは、間隔 200mm の引張 No.2, 3, 6 で鋼材破断であり、それ以外はコンクリートの割裂破壊であった。曲げ荷重によるひび割れが引張耐力に与える影響について、各位置の引張最大荷重を確認すると、ひび割れが確認できた中央部では、引張時の最大荷重は若干小さくなっているが、表-1 に示す耐力より高く拡張アンカーは十分な機能を発揮することがわかった。また、図-9 に示す最大荷重に至るまでのアンカー変位を見ると、間隔 200 mm の供試体では、引張側の最大荷重時の変位が 9 mm 程

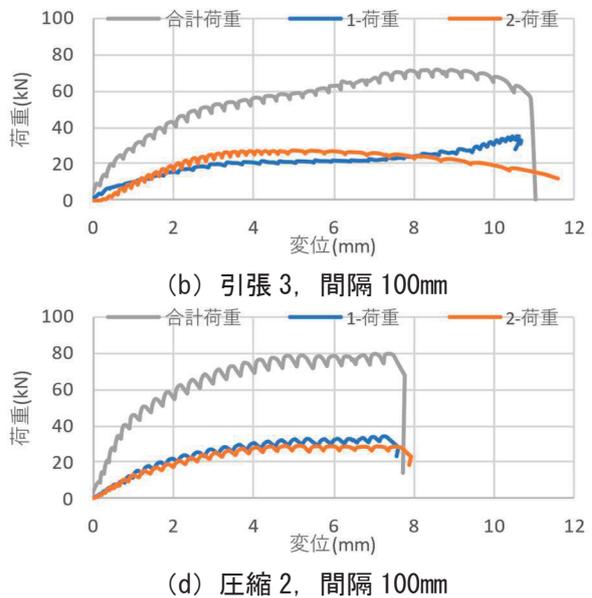


図-9 引張荷重-変位関係 (拡張アンカー, RC 梁供試体)

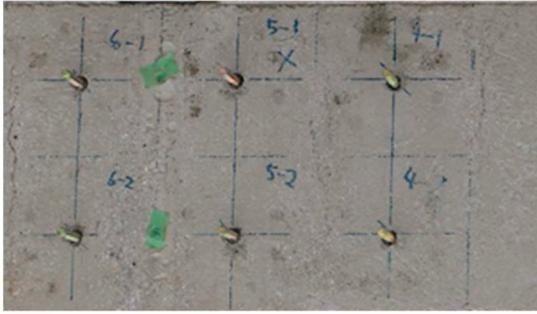
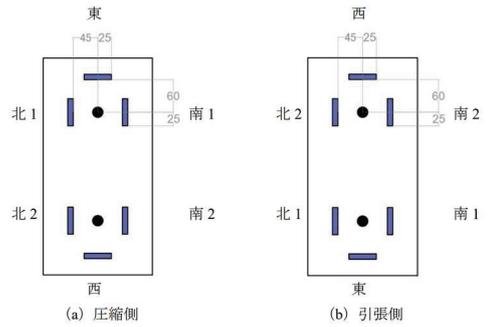


図-10 圧縮面の様子 (RC 梁, 間隔 200mm)

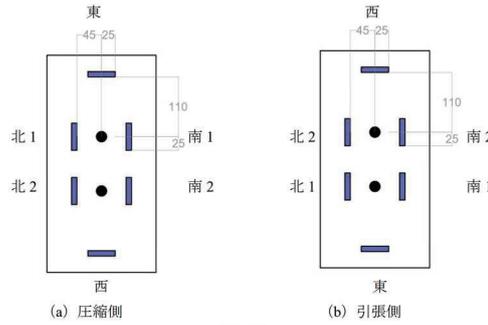
度であり、圧縮側の最大荷重時の変位に比べて大きくなっていることがわかった。

曲げ荷重によるひび割れが発生していない圧縮側を比較すると、間隔 100mm の最大荷重の方が、平均すると間隔 200mm の最大荷重よりも約 5 kN 大きくなっている。一方、引張側では、最大荷重は間隔 200mm の方が、間隔 100mm より大きな値を示しているが、スパン中央の No.4 の結果ではその差は大きいことがわかる。このように、RC 梁供試体では、荷重を受けていない RC 小型供試体の結果と異なり、アンカー間隔の違いによる群効果の影響を明確に確認することができなかった。このような違いは、アンカー間隔を小さくすることで、アンカーは互いに影響し合うようになった一方で、RC 小型供試体と比べると、RC 梁供試体ではアンカーの設置位置から縁端までの距離（へりあき）が異なる条件が影響したことによると考えられる。

破壊モードについて、図-10 のひび割れ状況のように、鋼材破断するケースでは、最大荷重に達した後、荷重を維持する傾向にありその後、アンカーボルトが破断することがわった。ただし、今回の実験では、引張によるひび割れが隣り合うアンカーの位



(a) 間隔 200mm



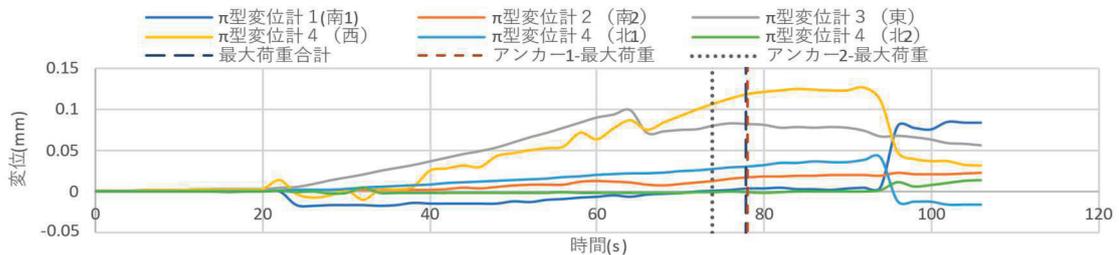
(b) 間隔 100mm

図-11 π型変位計の設置位置

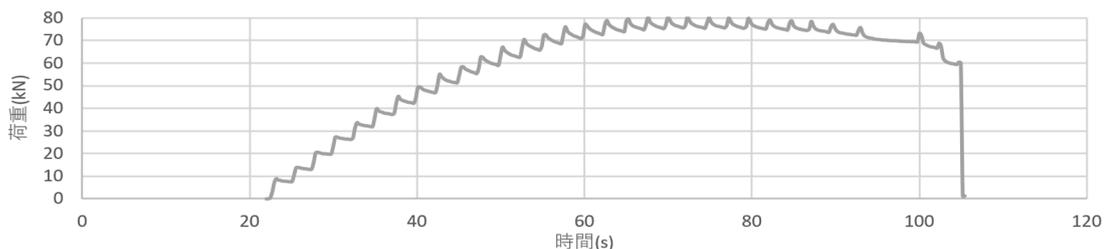
置に影響しないように、完全に引き抜ける前に引張荷重を終了したため、アンカーから放射線状にひび割れが進展した段階で割裂破壊と判定した点に留意したい。

鋼材破断したアンカーは全て約 9 mm 以上の変位に達して破断が生じた。そのため、変位が 9mm 以上のアンカーで鋼材破断していない箇所は、割裂ひび割れが開口しながらアンカーに作用する引張力を保持し続けていたことがわかる。

ひび割れ幅の結果について、図-11 にπ型変位計の設置位置について、また、結果の一例として図-12 に引張試験中に計測したひび割れ開口変位と荷重の

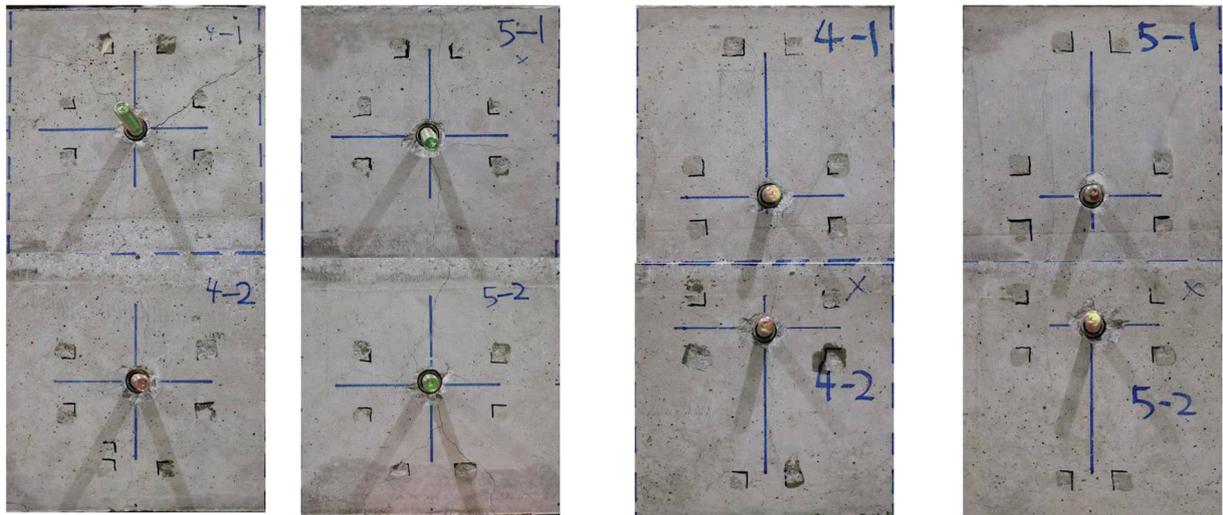


(a) ひび割れ幅開口変位



(b) 荷重

図-12 ひび割れ開口変位と荷重の推移 (RC 梁, 間隔 200mm, 拡張アンカー引張 3)



(a) 引張4 間隔 200mm (b) 引張5 間隔 200mm (c) 引張4, 間隔 100mm (d) 引張5, 間隔 100mm

図-13 試験後の様子 (RC 梁, 引張側)

時刻歴をそれぞれ示す。間隔 100mm の試験では、間隔 200mm の試験に比べ、東西の $\pi$ 型変位計が 2 本のアンカーを固定した引張治具の仕様上、アンカーの中心位置から離れてしまう配置となっている。そのため、2 本のアンカーを結ぶようなひび割れが見られたが、アンカー間に $\pi$ 型変位計を設置することができず、アンカー間隔の違いによって、最も影響を受ける位置は目視での確認のみ行った。

図-13 に試験後のアンカー周辺のひび割れ性状を示す。一例として、RC 梁供試体におけるアンカー間隔 200mm と 100mm の結果のうち、曲げ載荷試験の影響を最も受けると考えられる引張側の中央箇所の写真を示す。この写真でもわかるように、アンカー間隔が 100 mm で割裂破壊した箇所では、2 つのアンカーを結ぶようなひび割れが発生していた。また、ひび割れは放射線状に発生することもあったため、そのひび割れの幅を計測することはできなかった。ただし、この写真と前出の RC 小型供試体の図-7 と比べると、ひび割れがかなり小さいことがわかる。また、図-12 より、結果の数値には、負の値を計測することもあったため、このような斜め向きのひび割れによって、東西南北方向に設置した $\pi$ 型変位計での計測値に影響を与えていると推測できる。

#### 4. まとめ

RC 小型供試体において、最大荷重時にコンクリートが破壊し、拡張アンカーでは、最大荷重以降も耐力を維持し続ける傾向にある。一方で、拡張アンカーでは、最大荷重以降に耐力が急激に減少した。また、2 本のアンカーが同時に最大荷重に達し、偏りなく機能していることがわかった。アンカー間隔の違いによる最大引張耐力に関する群効果の影響を

を確認した。つまり、アンカー間隔が 100mm と小さいと、2 つのアンカーを結ぶひび割れの幅が大きくなり、アンカーが互いに影響を及ぼし合い、アンカーが互いに影響を及ぼし合った結果、耐力が低下し、早期に最大荷重に達することがわかった。

RC 梁供試体においては、曲げ荷重によるひび割れが発生する引張側で、ひび割れによる耐力の低下が確認できた。また、本研究において、母材コンクリート強度が一定以上であれば、曲げひび割れ幅が 0.1mm 程度のひび割れが生じた状態においても拡張アンカーは十分な機能を発揮することがわかった。

謝辞 本研究におけるあと施工アンカーの引張試験の実施に株式会社トラストにご協力いただきました。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工・維持管理指針(案)，コンクリートライブラリー160，2022
- 2) 土木研究所：あと施工アンカーの耐力特性に関する研究報告書—金属系あと施工アンカーの設計・施工・維持管理上の留意点—，土木研究所資料，4436，pp.4.9-13，2023.3
- 3) 笠裕一郎，岡本大，三倉寛明，田所敏弥：せん断力と引張力を受けるあと施工アンカーの耐力に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，38(2)，pp.625-630，2016
- 4) 三木朋広，尾崎由菜，小林学：金属系あと施工アンカーの軸引張耐力に与える曲げひび割れと側方圧縮力の影響，コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集，Vol.23，pp.273-278，2023.10