

# 論文 スラブにおける仮設開口用型枠工法の構造特性

深津 尚人\*1・田口 孝\*2

**要旨：**鉄筋コンクリート造等の建物のスラブには荷揚げするための仮設開口が設けられるが、こうした仮設開口に関する明確な方法や規定が存在しない。そこで、筆者らは施工性の向上およびコスト削減ならびに品質の確保を図ることを目的とし、容易に仮設開口の設置、復旧を可能とする新しい仮設開口用型枠工法を提案し、静的曲げ実験を行ってきた。その結果、提案工法による仮設開口を有したスラブでは、開口の無いスラブと同等の構造性能を有していることを確認した。本論文では、スラブの配筋方向を実験変数とした実大の曲げ実験を行い、耐力およびひび割れ性能などについて検証を行うことで、その構造特性を明らかにした。

**キーワード：**RCスラブ、仮設開口、静的曲げ実験、曲げ性能、ひび割れ特性

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造等の建物のRCスラブ(以下、スラブとする)には、コンクリート打設後に仮設部材を下階から上階へ荷揚げするために、一時的な仮設開口が設けられる。その際、開口位置のスラブ鉄筋を切断する必要がある。しかし、こうした仮設開口に関する明確な方法や規定が存在しないため、仮設開口に木製型枠を設置し、その中の鉄筋を中央で切断して折り曲げることで開口を確保し、その後曲げ戻して溶接にて復旧する方法などが一般的に行われている。しかし、こうした仮設開口の設置、復旧方法では、型枠の組立て・解体作業や切断された鉄筋の復旧作業など多くの工程が必要となるため、施工性が悪く手間やコストが多く発生する。そのため、簡便な仮設開口用型枠工法が提案されている<sup>1)</sup>。筆者らも施工性の向上およびコスト削減ならびに品質の確保を図ることを目的とし、容易に仮設開口の設置、復旧を可能とする新しい仮設開口用型枠工法を提案してきた<sup>2) 3)</sup>。ただし、曲げ耐力やひび割れ特性などに対する検証が不十分であった。

そこで、本論では、スラブの配筋方向を実験変数とした静的曲げ実験を行い、提案工法の曲げ性能やひび割れ特性などの構造性能に関して検証を行う。

## 2. 工法の概要

本工法による仮設開口の概要を図-1に示す。本工法の特徴は、スラブ主筋方向の開口長辺部に凹凸部を形成し、開口内のコンクリートとの一体性を図るとともに、その抜け出しを抑制することを期待した点にある。また、型枠を貫通する鉄筋を極力少なくすることで型枠の解体作業が簡易となり、かつ、所定の配筋規定を満足することで、溶接といった鉄筋の復旧作業が不要となる特徴を

有する。

開口では、主筋方向と同一方向に閉塞部補強筋が開口を跨ぐように配置する。また、開口の閉塞時には、コンクリートの剥落を防止する剥落防止筋を配置している。

仮設開口の設置位置は、施工現場の判断で行われることが多い。そのため、スラブの配筋状況によっては、それぞれの箇所での開口補強筋の配筋量が異なる場合が発生し、施工が煩雑になることが想定される。そこで、本工法では、開口補強筋の本数を上端筋、下端筋ともに切断本数+2本と固定し、容易に補強量を定めることができるようにしている<sup>3)</sup>。

## 3. 実験概要

### 3.1 試験体概要

試験体一覧を表-1に、開口の補強概要を表-2に示す。試験体寸法は実物大とし、計4体とした。実験変数は、スラブの配筋方向および開口の有無とした。

試験体は実際のスラブから部分的に切り出したものであり、その切り出し想定位置を図-2に示す。すなわち、試験体はスラブ中央で曲げモーメントが最大となる位置

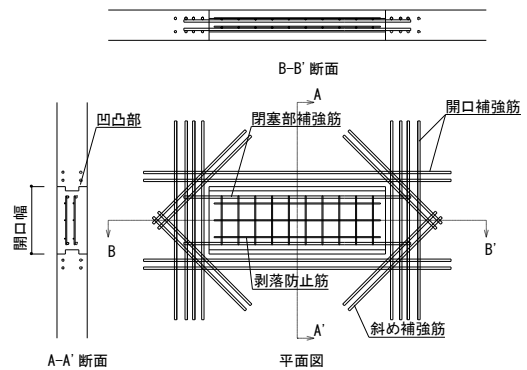


図-1 工法概要

\*1 矢作建設工業 (株) エンジニアリングセンター (正会員)

\*2 矢作建設工業 (株) エンジニアリングセンター 博士(工学) (正会員)

を想定している。また、開口の有無とは、無開口スラブ（開口を有していないスラブ）と開口を有し荷揚げ後に閉塞したスラブである。試験体の一例を図-3に示す。

材料試験によって得られた材料特性を表-3 および表-4 に示す。コンクリートの材料試験結果は、加力期間の前後に行った計2回の試験結果の平均を示している。

### 3.2 加力概要

加力概要を図-4に示す。本加力形式では、仮設開口両端外側を支持点、試験体の両端を加力点とし、2本の油圧ジャッキ（押し1MN,引き500kN）を用い載荷した。なお、試験時に発生する曲げモーメントは実際のスラブに発生する曲げモーメントとは上下反転となるため、試験体の配筋も実際の配筋に対し上下反転させている。

加力は前半が荷重制御、後半が変位制御による静的加力とした。制御する荷重 $P$ は2本の油圧ジャッキ荷重 $P_1, P_2$ の平均値、制御する変位 $\delta$ は2点ある加力点位置の鉛直変位 $\delta_1, \delta_2$ の平均値とした。

荷重制御は試験体の支持点位置に発生する曲げモーメントが長期相当許容曲げモーメントの1/2の曲げモーメントで3回、長期相当許容曲げモーメントで3回、短期相当許容曲げモーメントで3回の一方向漸増繰返載荷とした。ここで、長期相当、短期相当許容曲げモーメントとは試験体の自重による曲げモーメントを考慮した長期許容、短期許容曲げモーメントのことである。変位制

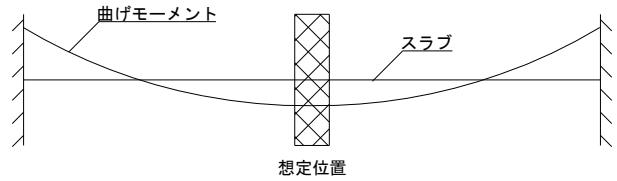
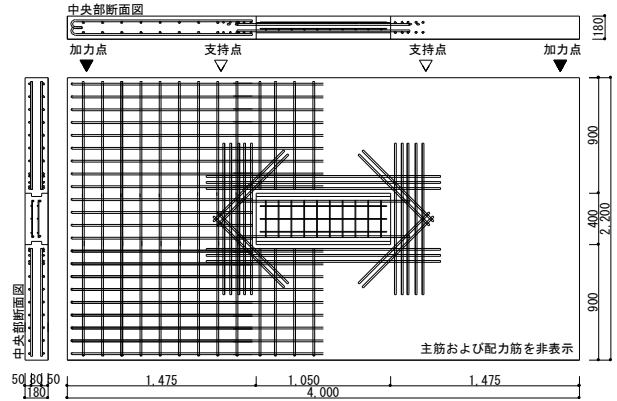
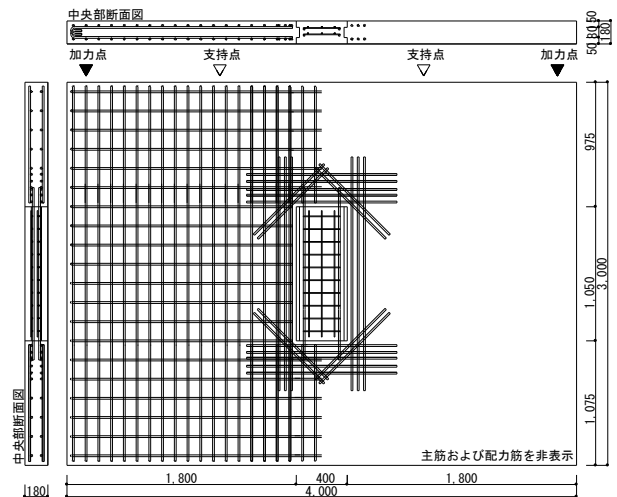


図-2 試験体切り出し想定位置



(1) RMUF-2 試験体（主筋方向）



(2) RDUF-2 試験体（配力筋方向）

図-3 試験体図（開口を有する試験体）

表-3 材料試験結果（鋼材）

使用部位	サイズ	材種	降伏強度	引張強さ	ヤング係数
			N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
剥落防止筋	φ6	SWM-P	558	625	199
その他の鉄筋	D13	SD295A	364	508	183

表-4 材料試験結果（コンクリート）

使用部位	圧縮強度	ヤング係数	割裂強度
	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
スラブ	22.1	24.9	1.95
閉塞部	15.5	22.4	1.88

表-1 試験体一覧

試験体名	配筋方向	開口	寸法(mm) 長さ×幅×厚さ	スラブ筋
RMUC-2	主筋	無	4000×2000×180	主筋:D13@100 配力筋:D13@150 ダブル
RMUF-2		有		
RDUC-2	配力筋	無	4000×3000×180	
RDUF-2		有		

表-2 開口の補強概要

試験体名	開口寸法(mm)	スラブ筋切断本数	開口補強筋	閉塞部補強筋	剥落防止筋
RMUF-2	1050×400	主筋方向:4-D13 配力筋方向:8-D13 ダブル	主筋方向:6-D13 配力筋方向:10-D13 ダブル	2-D13ダブル	φ6@100ダブル
RDUF-2					

御は加力点の鉛直変位  $\delta$  を支持点-加力点距離  $l_p$  で除した部材角  $\theta (= \delta/l_p)$  を用い、 $\theta=1/25$  で3回、 $\theta=1/12.5$  で一回の一方方向漸増繰返载荷とした。 $\theta=1/25$  および  $\theta=1/12.5$  は通常のスラブ設計では検討されないような大変形であるが、試験体の最大耐力を検討するために本実験ではこの部材角まで加力を行った。

制御に用いた計算耐力は、図-5 に示すように、制御荷重に加え試験体の自重も考慮し、式(3)の許容曲げモーメントから式(6)の自重による曲げモーメントを差し引き、支持点-加力点間距離で除した値とした。計算耐力を表-5 に示す。ここには、式(4)のひび割れ耐力および式(5)の終局耐力の値も示している。ここで、短期相当許容荷重から差し引かれる自重の割合は1割程度と少ないことから、自重による影響は小さいと判断し図-2 に示した想定位置の応力状態と一致すると考えた。同様な理由で、両支持点間に発生する曲げモーメントはほぼ等分布となる。

$$P = M_p / l_p \quad (1)$$

$$M_p = M - M_w \quad (2)$$

$$M_A = a_t \times f_t \times j \quad (3)$$

$$M_C = 0.56 \times \sqrt{\sigma_b} \times Z_o \quad (4)$$

$$M_U = 0.9 \times a_t \times \sigma_y \times d \quad (5)$$

$$M_w = w \times l^2 / 2 \quad (6)$$

- $P$  : 制御荷重 (計算耐力) (N)
- $M_p$  : 制御荷重による曲げモーメント (N・mm)
- $l_p$  : 支持点-加力点間距離 (=1050) (mm)
- $M$  : 各種曲げモーメント ( $M_b, M_G, M_U$ ) (N・mm)
- $M_A$  : 許容曲げモーメント (N・mm)
- $M_C$  : ひび割れ曲げモーメント (N・mm)
- $M_U$  : 曲げ終局モーメント (N・mm)
- $a_t$  : 引張鉄筋断面積 (N/mm<sup>2</sup>)  
本実験では無開口スラブ試験体の引張鉄筋断面積を用いた
- $f_t$  : 引張鉄筋の許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
本実験では長期計算時  $f_t=195$ , 短期計算時  $f_t=295$  を用いた
- $j$  : 応力中心間距離 (=7/8d) (mm)
- $d$  : 有効せい (mm)
- $\sigma_b$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $Z_o$  : 支持点部の自重曲げモーメント (N・mm)
- $\sigma_y$  : 引張鉄筋の降伏点強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_w$  : 支持点部の自重曲げモーメント (N・mm)
- $w$  : 自重 (N/mm)
- $l$  : はね出し距離 (=1200) (mm)

## 4. 実験結果

### 4.1 荷重位関係

実験によって得られた荷重  $P$  と変形  $\delta$  の関係を図-6 に示す。また、図中には長期相当許容荷重  $P_{AL}$  および短期相当許容荷重  $P_{AS}$  の計算値を合わせて示している。

この結果、短期相当許容荷重までは開口の有無に関係なく同様な傾向を示した。

ひび割れ発生時の荷重、スラブ筋の降伏時の荷重、 $\theta=1/25$  サイクルまでの最大荷重などの実験結果を表-6 に示す。

ひび割れ計算荷重以下の荷重において多くの試験体で支持点位置上側にひび割れが生じた。これは、ひび割れ曲げモーメントの式(4)が梁の平均的なひび割れ発生荷重を計算する式であること、また、このひび割れ発生荷重は目視によって確認された最初の局所的なひび割れ時の荷重であることが一因として考えられる。ただし、図-6 にみられるように試験体の剛性が大きく変化するような挙動は見られなかった。従って、試験体の不陸などによって生じたばらつきであると考えられる。

主筋の降伏時の荷重および  $\theta=1/25$  サイクルまでの最大荷重では、開口の有る試験体が開口の無い試験体より1~8%程度高い結果が得られた。これは、先述のように支持点間に作用する曲げモーメントは等分布と想定していることから、最も配筋量が少なくなる開口位置において、開口の有る試験体の切断されていないスラブ筋および開口補強筋の断面積の合計の方が、開口の無い試験体

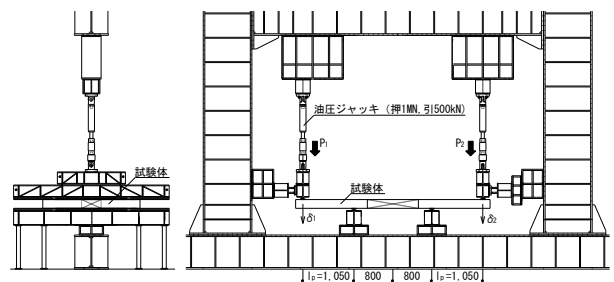


図-4 加力概要図

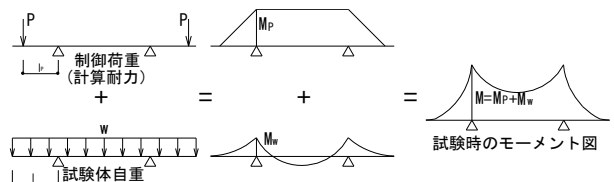


図-5 計算耐力の概念

表-5 制御用計算耐力

試験体名	曲げモーメント (kN・m)				計算耐力 (kN)				
	ひび割れ	長期許容	短期許容	終局	自重	ひび割れ	長期相当許容	短期相当許容	終局
	$M_c$	$M_{AL}$	$M_{AS}$	$M_U$	$M_w$	$P_c$	$P_{AL}$	$P_{AS}$	$P_U$
RMUC-2.RMUF-2	32.6	68.0	102.9	105.8	6.8	24.5	58.3	91.5	118.0
RDUC-2.RDUF-2	44.4	84.4	84.4	86.8	9.3	33.4	44.2	71.5	93.2

のスラブ筋断面積の合計と比べ主筋方向では約 9%，配力筋方向では約 10%高いことが一つの要因と考えられる。

以上の結果から，開口を有しているスラブは短期相当許容荷重時まで，もしくは  $\theta=1/25$  までの範囲では無開口のスラブと同等の性能を有していると言える。

一方，計算による終局荷重は  $\theta=1/25$  サイクルまでの最大荷重を十分に評価できていない。そこで，「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999年：日本建築学会」<sup>4)</sup> の 5.2 節曲げ終局強度算定の原則に従い，応力ブロックを用いた曲げ終局強度の計算を行った。平面保持の仮定をもとに曲げ終局時のコンクリート圧縮側ひずみを 0.003 とし，中立軸を適当に変動させて収れん計算を行い，終局強度を算出した。ここでは，

$\beta_1=0.85$  とし，圧縮側コンクリート応力度を等価な長方形応力度分布に置換した。また，本検討で用いる鉄筋は無開口スラブ試験体の引張鉄筋のみを用いて計算を行った。結果を表-6 に示す。この結果，応力ブロックを用いた曲げ終局強度は式(5)の終局耐力より最大荷重を精度良く評価できることが分かった。

さらに， $\theta=1/25$  以降の大変形時には荷重が低下している試験体がある。このような最大荷重の低下は，大変形時に発生した支持点位置でのコンクリートの圧壊により生じたものであるが，実際のスラブに生じる変形に比べてあまりにも大変形時の現象であることから，詳細な検討は割愛する。

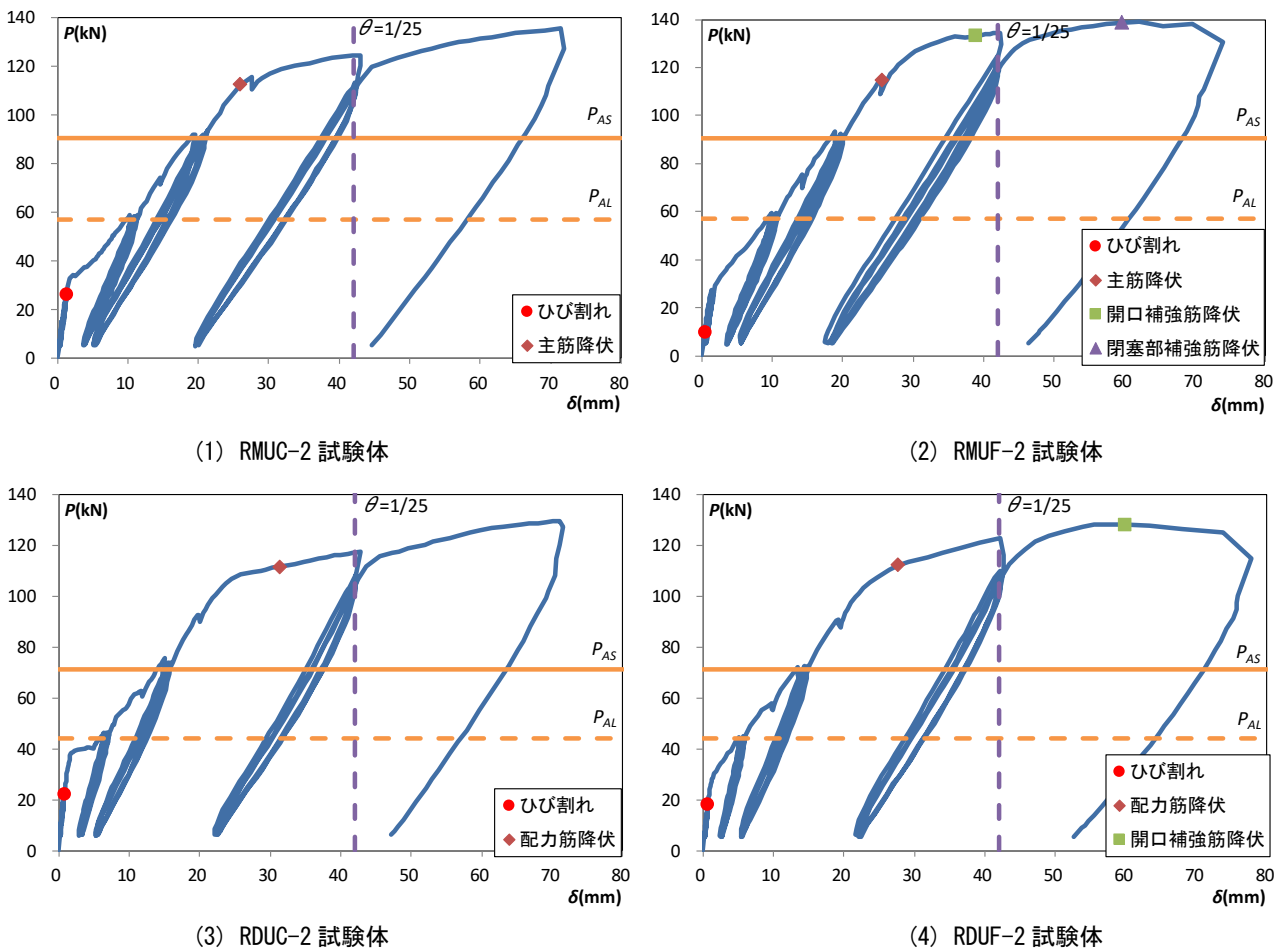


図-6 荷重-変形関係

表-6 実験結果

試験体名	ひび割れ発生荷重	ひび割れ荷重との比	主筋降伏時荷重	開口無し試験体との比	短期相当許容荷重との比	1/25までの最大荷重	開口無し試験体との比	終局荷重との比	終局荷重(応力ブロック)	終局荷重との比
	$eP_C$ kN	$eP_C/P_C$	$eP_R$ kN		$eP_R/P_{AS}$	$P_{max}$ kN		$P_{max}/P_U$	$P_U'$ kN	$P_{max}/P_U'$
RMUC-2	26.5	1.08	112.6	-	1.23	124.7	-	1.06	127.3	0.98
RMUF-2	10.0	0.41	114.7	1.02	1.25	134.3	1.08	1.14	127.3	1.05
RDUC-2	22.4	0.67	111.7	-	1.56	117.5	-	1.26	124.1	0.95
RDUF-2	18.2	0.54	112.4	1.01	1.57	123.2	1.05	1.32	124.1	0.99

#### 4.2 ひび割れ発生状況

短期相当許容荷重時のスラブ上面に発生したひび割れの状況を写真-1に示す。写真中の赤線は図-4で示す支持点位置を、黄枠は開口位置を示す。また、ひび割れ線の色はどの制御荷重段階でひび割れが発生したかを表している。閉塞部から生じている太い線は歪ゲージのリード線である(写真-1(2),(4))。

全ての試験体とも支持点間ではほぼ等間隔でひび割れが発生しており、3.2節で想定した等分布の曲げモーメントが発生していたと推測される。

また、RMUF-2試験体では開口短辺の打ち継ぎ部でひび割れが発生しているが、それに加え開口を縦断するようなひび割れも存在する。これは周辺スラブと仮設開口のコンクリートが、凹凸を介し一体となって変形していたものと考察される。

長期相当許容荷重時に図-7の位置で計測された最大

ひび割れ幅を表-7に示す。ひび割れ幅の計測はクラックスケールを用いて目視で行った。「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2018年：日本建築学会」<sup>5)</sup>(以下、RC規準とする)では室内の許容されるひび割れ幅は0.3mmから0.4mmとされているが、本実験では計測されたひび割れ幅は最大でも0.30mmであり、許容ひび割れ幅の0.4mmを超えるひび割れが発生していないことが確認できた。また、開口の有無においても、大きな差異がないことが確認できた。

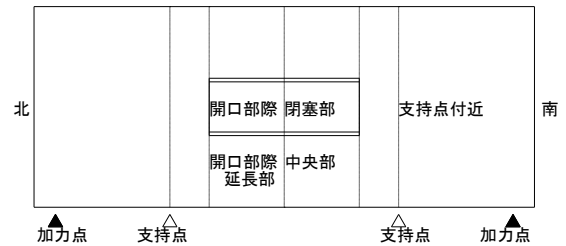
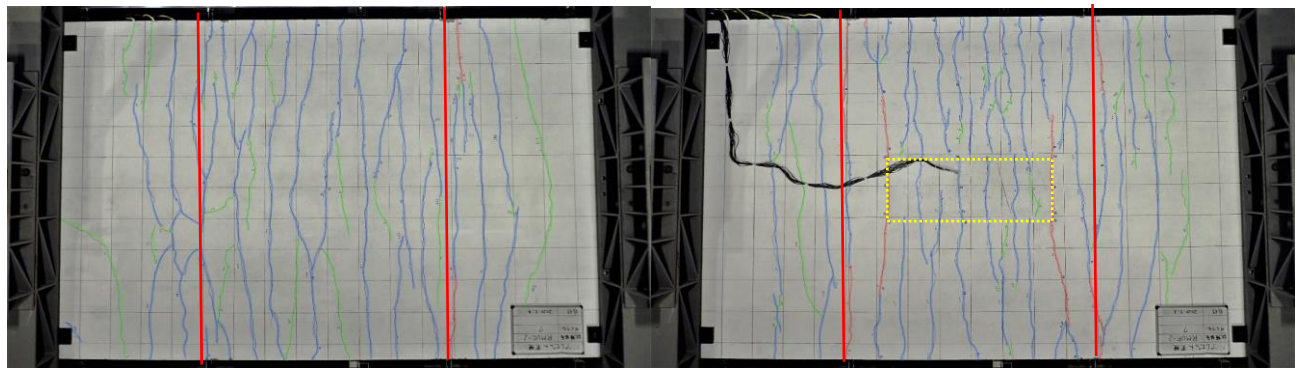
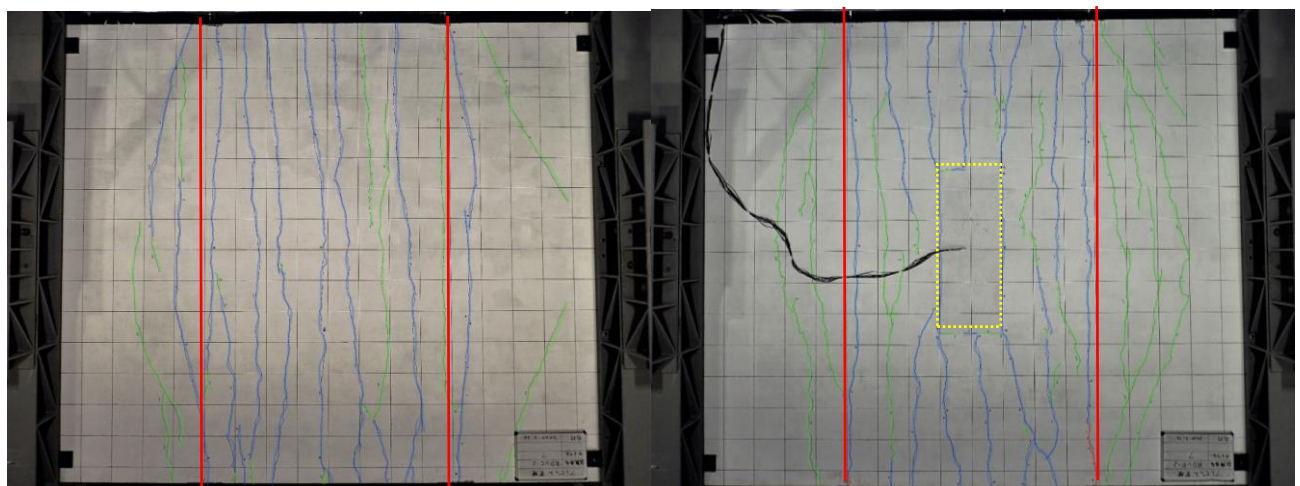


図-7 ひび割れ幅計測位置



(1) RMUC-2 試験体

(2) RMUF-2 試験体



(3) RDUC-2 試験体

(4) RDUF-2 試験体

写真-1 ひび割れ発生状況

ひび割れ線色  
 赤線 長期相当許容曲げ荷重×1/2  
 青線 長期相当許容曲げ荷重  
 緑線 短期相当許容曲げ荷重

表-7 最大ひび割れ幅の計測値

試験体名	開口部際延長部(mm)		中央部(mm)	支持点付近(mm)		開口部際(mm)		閉塞部(mm)
	北	南		北	南	北	南	
RMUC-2	-	-	0.30	0.25	0.25	-	-	-
RMUF-2	0.25	0.20	0.15	0.20	0.25	0.25	0.30	0.20
RDUC-2	-	-	0.20	0.25	0.20	-	-	-
RDUF-2	0.20	0.20	0.15	0.20	0.25	0.20	0.30	-

### 4.3 鉄筋の応力状況

スラブ筋および開口補強筋に貼付した歪ゲージの位置を図-8に、短期相当許容荷重時に計測された歪から換算した応力とその位置の関係を図-9に示す。ここでは、仮設開口を閉塞したRMUF-2試験体とRDUF-2試験体の結果を示す。図中の実線はスラブ筋の応力を、破線は開口補強筋の応力を示し、塗りつぶしのマーカーは上端筋を、白抜きのマーカーは下端筋を示している。また、鉄筋の降伏応力度もあわせて示す。ここで、鉄筋応力は鉄筋応力とひずみの関係をバイリニアで仮定し、歪ゲージで計測された歪を応力に変換し算定した。

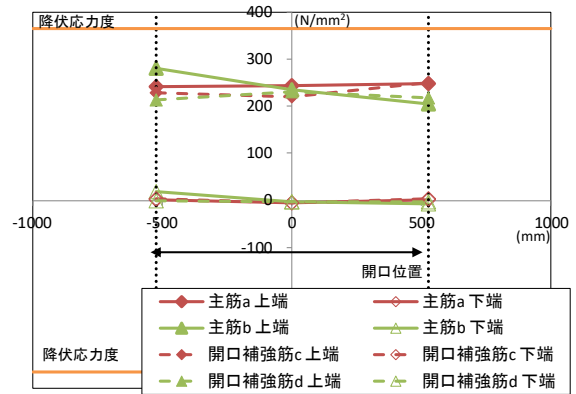
両試験体ともにスラブ筋および開口補強筋に生じた応力はスラブの幅方向の位置によって大きな差異は生じていない。これは試験体に平面的に均等な応力が生じていた結果と思われる。

また、スラブ筋と開口補強筋に生じた応力にも大きな差異が無い。このことから、開口補強筋の効果が十分に発揮できていたと推測される。

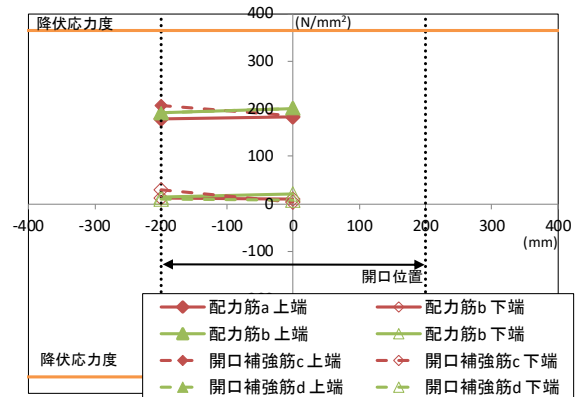
### 5. まとめ

本論文では、スラブに設けた仮設開口の影響について提案工法の曲げ実験を行い、曲げ性能や終局強度、ひび割れ特性などの構造性能について実験検証を行った。その結果、開口の有無およびその閉塞に関わらず履歴性能に差がないこと、長期相当許容荷重時のひび割れ幅がRC規準で示されている許容ひび割れ以下となっていること、

ひび割れの発生状況から閉塞部とその周囲のコンクリーが一体となって変形していること、開口補強筋には主筋と同等の応力が発生していること等の結果が得られ、本工法による仮設開口を有したスラブにおいては、開口の無いスラブと同等の構造性能を有していることが確認できた。



(1) RMUF-2 試験体



(2) RDUF-2 試験体

図-9 鉄筋発生応力

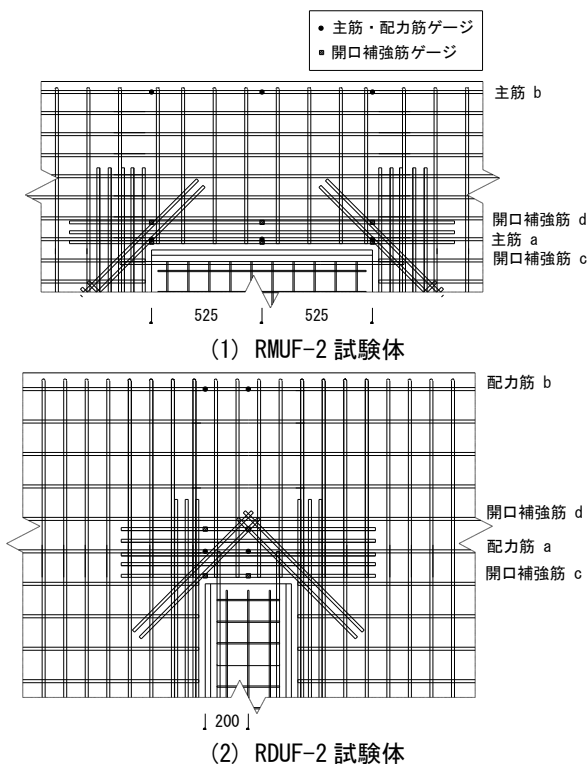


図-8 ゲージ貼付位置

### 参考文献

- 1) 星幸太, 迫田丈志, 磯雅人, 高橋愛: ハーフプレキャスト床板用仮設床開口補強ユニット筋の開発(その1~その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.269-274, 2019.9
- 2) 芳賀祐司, 田口孝: スラブにおける仮設開口用型枠工法の開発, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第55号, pp.245-248, 2017.2
- 3) 深津尚人, 田口孝: スラブにおける仮設開口用型枠工法の実験検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, pp.367-372, 2020.6
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, pp.94-99, 1999.8
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, p.61, 2018.12