

論文 スラブにおける仮設開口用型枠工法の実験検証

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規定や方法が存在しない。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た。仮設開口の設置位置やスラブの種類などを実験変数とした曲げ実験を行い、提案工法の構造性能に関して検証を行った。耐力およびひび割れなどについて検証を行った結果、提案工法による仮設開口を有したRCスラブおよびハーフPCaスラブでは、開口の無いスラブと同等の性能を有していることが確認できた。

キーワード：スラブ、仮設開口、曲げ性能、漸増繰返載荷実験

1. はじめに

鉄筋コンクリート造等の建物のスラブには、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、一時的に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規定や方法が存在しないため、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、様々な仮設開口用型枠工法が提案されている¹⁾。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²⁾。ただし、仮設開口の設置位置やプレキャストコンクリート板を用いた場合などに対する検証が不十分であった。

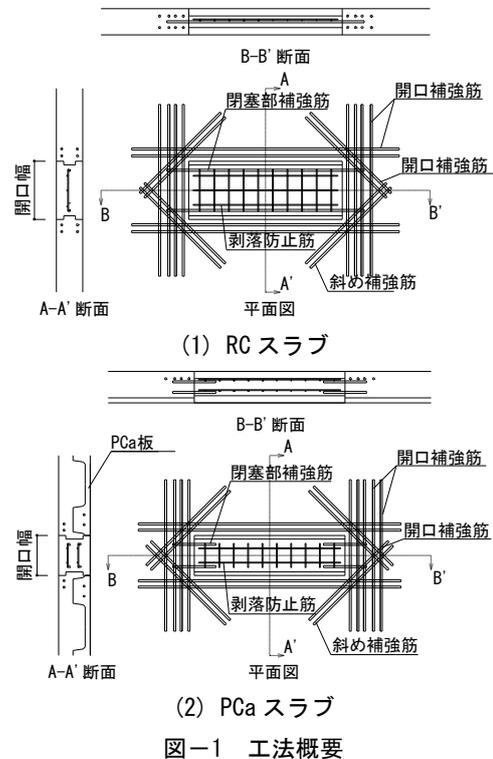
そこで、本論では、仮設開口の設置位置やスラブの種類などを実験変数とした曲げ実験を行い、提案工法の構造性能に関して検証を行う。

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。図-1(1)では通常の鉄筋コンクリートスラブを(以降、RCスラブ)、図-1(2)ではプレキャストコンクリート板を用いたハーフプレキャストスラブを(以降、PCaスラブ)想定している。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。

開口においては、主筋方向と同一方向に閉塞部補強筋を配置する。RCスラブでは、閉塞部補強筋は開口を跨ぐように連続して配置し、PCaスラブでは、凹凸の凹部に開口を設けることを想定し、荷揚げ部の開口面積を確保するために、閉塞部補強筋は短材を開口の両側にのみ配置している。また、両スラブとも閉塞時には、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。



*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)

3. 実験概要

3.1 試験体概要

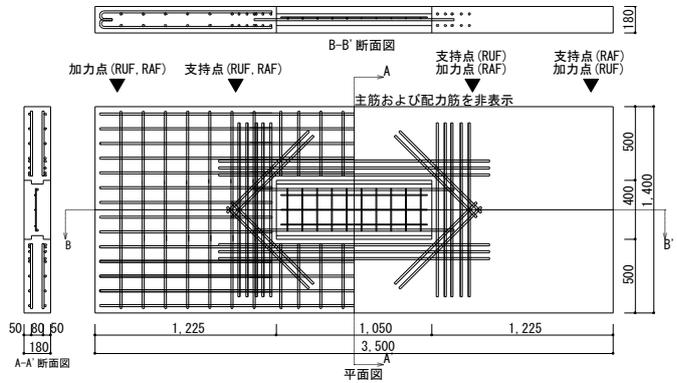
試験体一覧を表-1に、開口の補強概要を表-2に、試験体の一例を図-2に示す。試験体寸法は実物大とし、計10体を製作した。実験変数は、スラブの種類および加力形式、仮設開口および閉塞の有無とした。

スラブの種類はRCスラブを想定したRシリーズ, PCaスラブを想定したFシリーズの2種類とした。本実験のハーフプレキャスト板は所定のプレストレスを導入したリブ付きプレキャストコンクリート板とし、φ12.7のPC鋼材を計8本配置することで、上部に配筋するスラブ主筋が降伏した際にもPC鋼材が降伏強度に達しないようにしている。

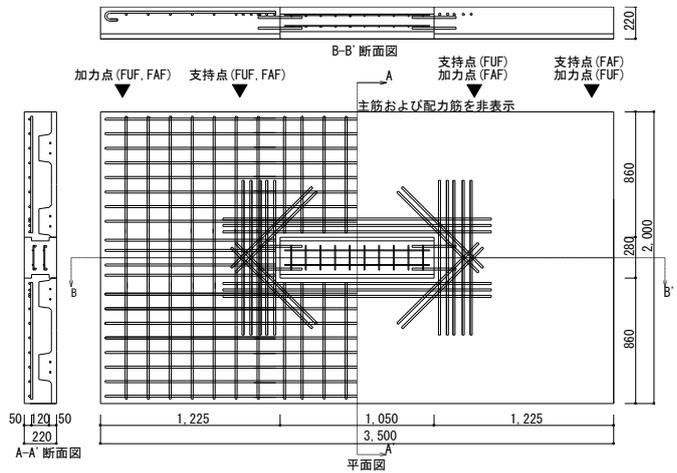
仮設開口の設置位置は、施工現場の判断で行われることが多い。そのため、スラブの配筋状況によっては、開口補強筋の配筋量が異なる場合が発生し、施工が煩雑になることが想定される。よって、本工法では、開口補強筋の本数を上端筋、下端筋ともに切断本数+2本と固定し、容易に補強量を定めることのできるようにした。一方、このような補強筋の設定方法とするためには、性能を検証する実験において、補強筋比（開口補強筋本数/スラブ主筋切断本数）を低く設定する必要がある。このため、本試験体はスラブ主筋をD13@100、スラブ配力筋をD13@150と一般的なスラブと比較し過密な配筋とした。

閉塞部の補強筋は、無筋領域を厚さ100mm以下とするために、スラブ厚を180mmとしたRシリーズでは一段配筋、スラブ厚を220mmとしたFシリーズを二段配筋とした。そして、閉塞部補強筋の上に剥落防止筋φ6@100を配置した。

加力形式は、スラブの曲げモーメント分布に対する開口位置を想定し2種類を採用した。図-3にスラブに作用する曲げモーメント分布と開口想定位置の関係を示す。その位置はスラブ下側が引張側となる曲げモーメントが



(1) RUF 試験体, RAF 試験体



(2) FUF 試験体, FAF 試験体

図-2 試験体図

表-1 試験体一覧

試験体名	スラブ種類	加力形式 (想定位置)	開口	閉塞	寸法(mm) 長さ×幅×厚さ	スラブ筋
RUC	RC	等曲げ (図-3(a))	無	-	3500×1400×180	主筋:D13@100 配力筋:D13@150 ダブル
RUF			有	有		
RUE		逆対称曲げ (図-3(b))	無	-		
RAF			有	有		
FUC			無	-		
FUF	PCa	等曲げ (図-3(c))	有	有	3500×2000×220	主筋:D13@100 配力筋:D13@150 シングル
FUE			有	無		
FAC		逆対称曲げ (図-3(b))	無	-		
FAF			有	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
RUF	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 シングル	φ6@100シングル
RUE					-
RAF					φ6@100シングル
FUF	1050×280	主筋方向:4-D13 配力筋方向:8-D13 シングル	主筋方向:6-D13 配力筋方向:10-D13 シングル	2-D13 ダブル	φ6@100ダブル
FUE					-
FAF					φ6@100ダブル

作用する位置(a), 曲げモーメントの正負が反転する位置(b), スラブ上側が引張側となる曲げモーメントが作用する位置(c)を想定している。想定位置(a)および(c)では開口位置で等分布の曲げモーメントが作用する等曲げ加力形式を, 想定位置(b)では仮設開口中央で曲げモーメントの正負が反転する逆対称曲げ加力形式を採用した。

さらに, 無開口スラブ (仮設開口を有していないスラブ), 開口を有するが閉塞したスラブ (施工後), 開口を有しているスラブ (施工中) を選定した。

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, 加力期間前後および加力期間中に行った計4回の試験結果の平均を示している。

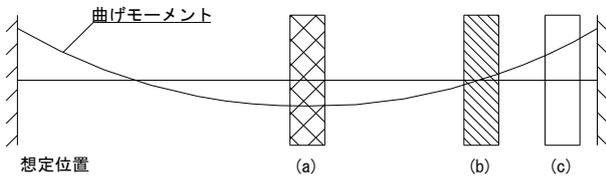


図-3 曲げモーメント分布と開口想定位置の関係

表-3 材料試験結果 (鋼材)

試験片	材種	降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	ヤング係数 × 10 ³ N/mm ²	降伏歪 μ	仕様部位
φ 6	SWM-P	485	539	208	2335	剥落防止筋
φ 12.7	SWPR7B	1580 ^{*1}	1854 ^{*2}	-	-	PC鋼材
D13	SD295A	353	492	185	1906	その他の鉄筋

表-4 材料試験結果 (コンクリート)

使用部位	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 × 10 ³ N/mm ²	割裂強度 N/mm ²	比重 kN/m ³
PCa板	61.7	32.0	3.14	22.9
RC部	26.1	26.8	1.91	22.0
閉塞部	20.0	24.9	1.65	21.8

3.2 加力概要

加力概要を図-4 に示す。等曲げ加力形式では, 図-4(1)に示すように仮設開口両端外側を支持点とした。試験体の両端を加力点とし, 2本の油圧ジャッキ (押し500kN, 160mm, 引き250kN, 140mm) を用い載荷した。なお, RCスラブにおいては, 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 (図-3(a)部) 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。逆対称曲げ加力形式では, 図-4(2)に示すように, 加力点と支持点を交互に配置し, 試験体中央で曲げモーメントが反転するようにしている。

加力は前半が荷重制御, 後半が変位制御とした。制御する荷重 P は, 等曲げ加力形式では2本の油圧ジャッキ荷重 P_1, P_2 の平均値を, 逆対称曲げ加力形式ではスラブ端部側の荷重 P_1 と開口側の荷重 P_2 の1/2の平均値として

いる。制御する変位 δ は2点ある加力点位置の鉛直変位 δ_1, δ_2 の平均値とした。

荷重制御は試験体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を行った。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。変位制御は加力点の鉛直変位 δ を支点加力点距離 l_p で除した部材角 $\theta (= \delta/l_p)$ で制御し, $\theta = 1/25$ で3回, $\theta = 1/12.5$ で一回の一方向漸増繰返載荷を行った。

長期許容曲げモーメント M_{AL} , 短期許容曲げモーメント M_{AS} は下式を用いて計算した。

$$M_{AL} = a_t \times 2/3 f_t \times j \quad \text{式(1)}$$

$$M_{AS} = a_t \times f_t \times j \quad \text{式(2)}$$

a_t : 引張鉄筋断面積 (N/mm²)

本実験では無開口スラブ試験体の引張鉄筋断面積とした

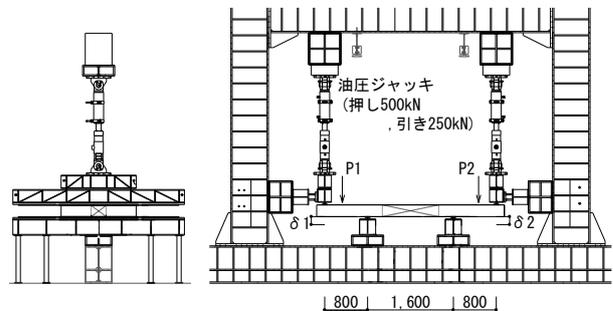
f_t : 引張鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

本実験では $f_t = \sigma_y$ とした

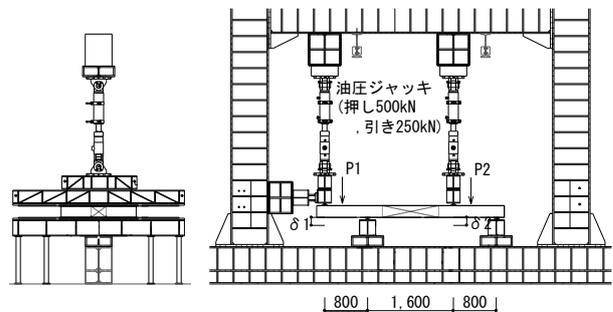
j : 応力中心間距離 ($= 7/8d$) (mm)

d : 有効せい (mm)

σ_y : 引張鉄筋の降伏点強度 (N/mm²) (表-3の値)



(1) 等曲げ加力形式



(2) 逆対称曲げ加力形式

図-4 加力概要図

4. 実験結果

4.1 荷重変位関係

実験によって得られた最大荷重などの実験結果を表-5に、荷重 P と変形 δ の関係を図-5に示す。また、図中には長期相当許容荷重および短期相当許容荷重の計算値を合わせて示している。逆対称曲げ加力形式を用いた試験体では、変位制御時には一方の変位 δ_1 が進展したため、その変位が目標変位に到達した時点でサイクルを終了している。

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ている。一方、一般的なスラブとして使用される領域ではないが、変位制御時には、スラブ主筋の降

伏により開口の無い試験体の方が、開口の有る試験体より先に剛性が低下した。これは、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主筋および開口補強筋の断面積の合計の方が、開口の無い試験体の主筋断面積の合計とに比べRシリーズでは約14%、Fシリーズでは約10%高いことが一つの要因として考えられる。

スラブ主筋の降伏時の荷重と変位、 $\theta=1/25$ サイクルおよび最終サイクルまでの最大荷重を表-5に示しているが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2~20%程度高い結果が得られた。

大変形時には荷重が低下している試験体がある。この

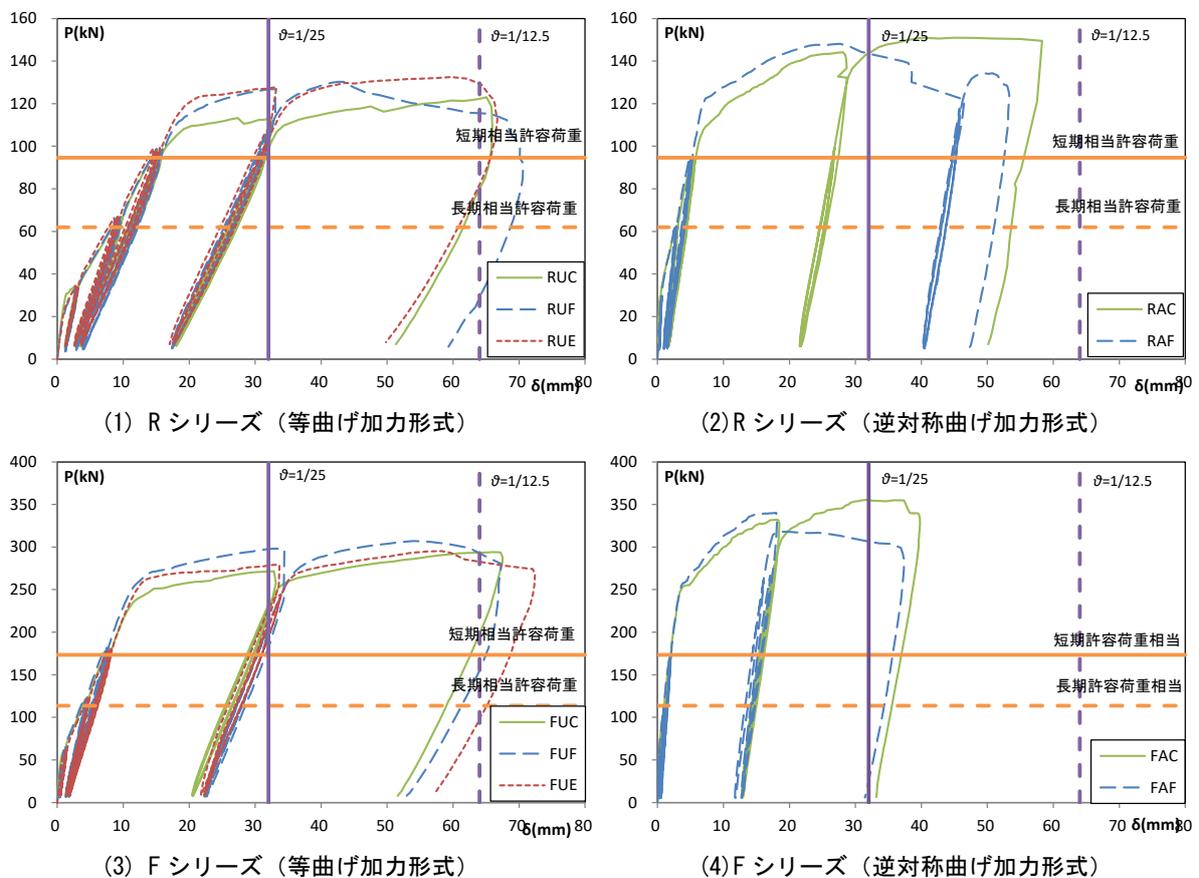


図-5 荷重-変形関係

表-5 実験結果

試験体名	主筋降伏時			$\theta = 1/25$ 時		最終サイクル時	
	P	無開口試験体との比	δ	P_{max}	無開口試験体との比	P_{max}	無開口試験体との比
	kN		mm	kN		kN	
RUC	98.5	-	15.16	113.3	-	123.0	-
RUF	100.8	1.02	16.45	126.8	1.12	130.3	1.06
RUE	104.3	1.06	16.49	127.8	1.13	132.5	1.08
RAC	91.8	-	5.00	144.1	-	151.0	-
RAF	94.8	1.03	4.87	148.1	1.03	148.1	0.98
FUC	229.8	-	10.99	271.5	-	294.0	-
FUF	254.5	1.11	11.69	297.8	1.10	307.0	1.04
FUE	238.5	1.04	11.23	279.3	1.03	295.3	1.00
FAC	215.0	-	2.71	332.0	-	355.4	-
FAF	257.8	1.20	3.98	340.1	1.02	340.1	0.96

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と推測されるが、本論で検証すべき範囲（荷重制御領域）のスラブ曲げ性能とは関係ないことから、詳細な検討は割愛する。

このような結果から、開口を有しているスラブは施工中および施工後においても、短期相当許容荷重時には無開口のスラブと同等の性能を有していると考えられる。

4.2 ひび割れ発生状況

長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。写真中の実線は図-4に示す支点位置を、点線は加力点位置を示す。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), (5), (7), (10)）

等曲げ加力形式の試験体の結果では、支点間でほぼ等

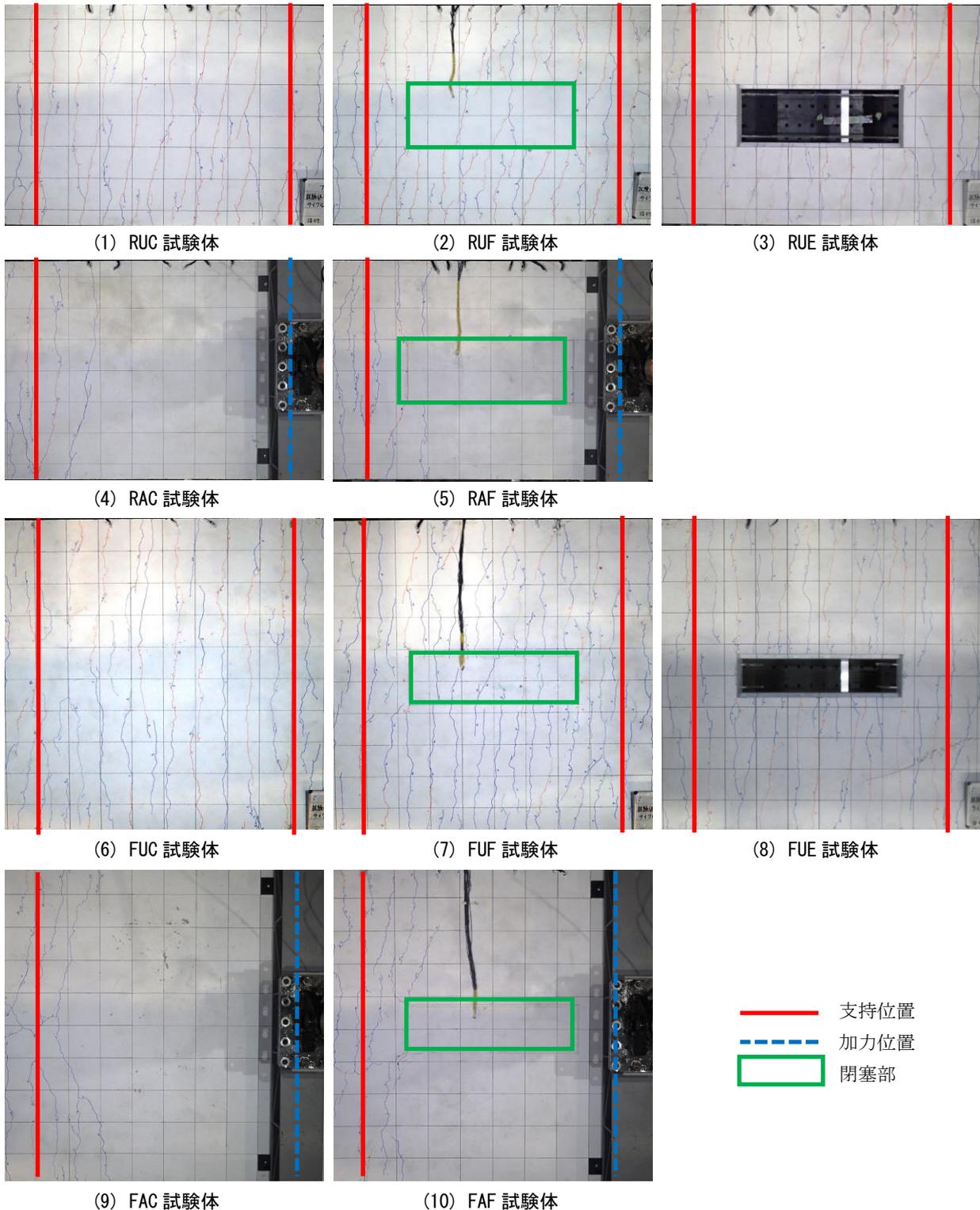


写真-1 ひび割れ発生状況（長期相当荷重時）

間隔でひび割れが発生しており、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。逆対称曲げ加力形式では支点付近にひび割れが発生しており、この位置で最大曲げモーメントが発生していたと推測される。

また、RUF 試験体および FUF 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。

4.3 鉄筋の応力状況

主筋および開口補強筋に貼付した歪ゲージの位置を図-6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-7に示す。ここでは、仮設開口を閉塞し、等曲げ加力形式とした RUF 試験体と FUF 試験体の結果を示す。図中の実線は主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。

両試験体ともに主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、主筋と開口補強筋に生じた応力にも大きな差異が無い。よって、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。

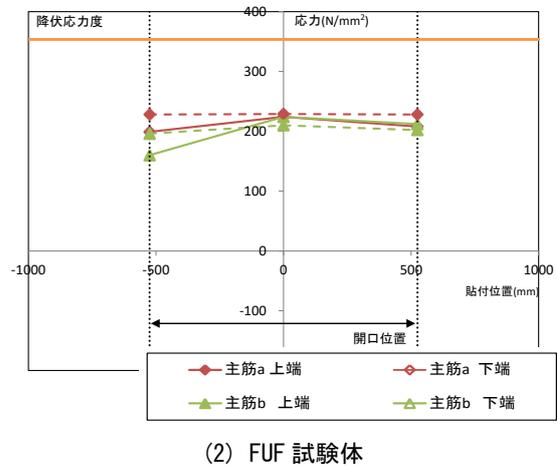
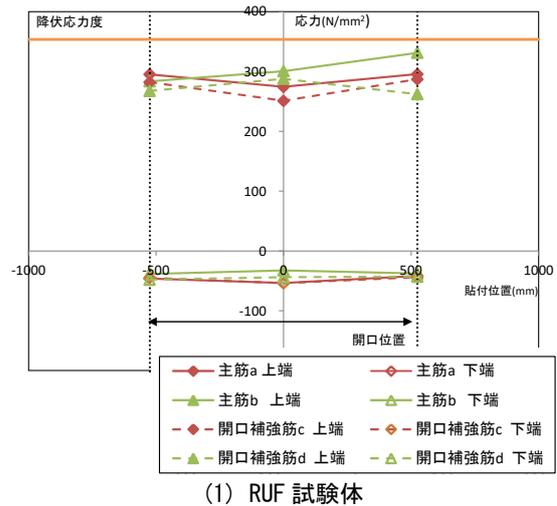


図-7 鉄筋発生応力

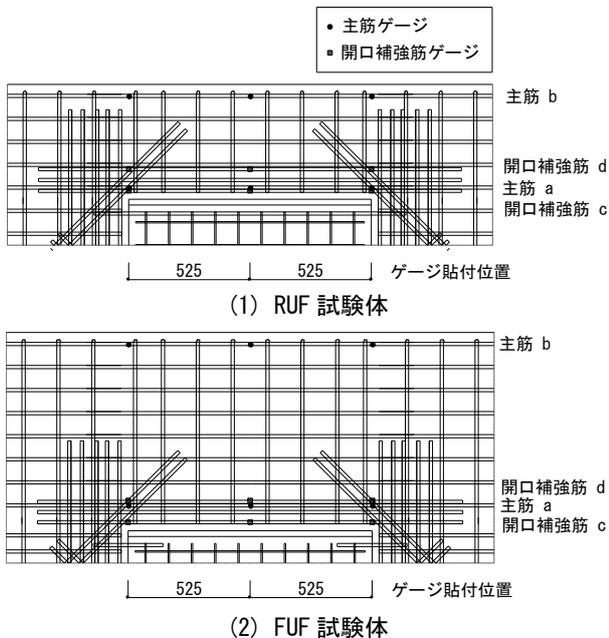


図-6 ゲージ貼付位置

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、耐力およびひび割れ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、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ト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が得られ、本工法による仮設開口を有した RC スラブおよび PCa 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。

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版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