

報告 プラットホームを模した床スラブの実大加力実験

盛尾 修平*1・岸本 一蔵*2・福田 圭祐*3・坂岡 和寛*4

要旨： 既設ホーム片持ちスラブを模した実物大の供試体を作製し、ホーム可動柵に旅客推力を作用させる載荷実験を行った。実験の結果、供試体は設計荷重 5 倍以上の耐力を有していること、設計荷重の 2 倍程度までひび割れははげず荷重-変形関係は比例することがわかった。また、設計荷重の 3 倍を超えて大きくなると、ひび割れが顕著に発生し、中央部分のたわみ量が大きくなると同時にスラブ内の鉄筋ひずみが大きくなる。更に、スラブの曲げ耐力は実験で得られた主筋ひずみの値を用いておおよそ評価できることを示した。

キーワード： プラットホーム、片持ちスラブ、旅客推力、実大加力実験

1. はじめに

ホーム可動柵に旅客推力が作用する場合、可動柵を支える支柱を中心に床スラブに曲げモーメントが発生する。現行の「鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）」ではこの曲げモーメントに対して抵抗する床スラブの範囲、つまり有効幅について明記されていない。そこで、旅客推力に起因する曲げモーメントに対するスラブの耐力を検証することを目的に、既設ホーム片持ちスラブを模した実物大の供試体を作製し、ホーム可動柵を想定した支柱を設置し、これに旅客推力を想定した水平力を作用させる載荷実験を行った。得られた結果（スラブの耐力およびひび割れ発生状況、鉄筋に生じる歪み等）について報告する。

2. 実験概要

載荷の対象となる供試体は駅の既設ホームを模したスラブであり、張り出し長さ 2450mm、スラブ厚 150 (スラブ先端) ~260 (スラブ固定側) mm、幅 5000mm である。図-1 に試験体概要および配筋状況を示し、写真-1 に試験体全体の様子を示す。スラブ内の配筋は張り出し方向に主筋 SD295 D13 @200 を、幅方向には配力筋 SD295 D13 @200 を基準として配した。コンクリートおよび鉄筋の力学特性を表-1, 2 に示す。図-2 に載荷装置概略を示す。加力は同図に示すようにスラブ先端側から 700mm の位置に設置した支柱（ホーム可動柵の支柱を想定）の高さ 1200mm の位置に水平方向に引張力を外力として与えることにより行った。旅客推力は本来内力であるが、本実験では床スラブがどの範囲で曲げモーメントに抵抗するかを検討の主目的としていること、また内力として力を与える場合その与え方に定まった手法がない等の理由から外力として与えた。

外力は反力壁に設置した油圧ジャッキを用い PC 鋼棒により与えた。加力履歴は一方向漸増載荷（一部分で繰り返しを行っている）とし、最大荷重を確認した時点で測定を終了し、その後試験体の一部が破壊するまで変形

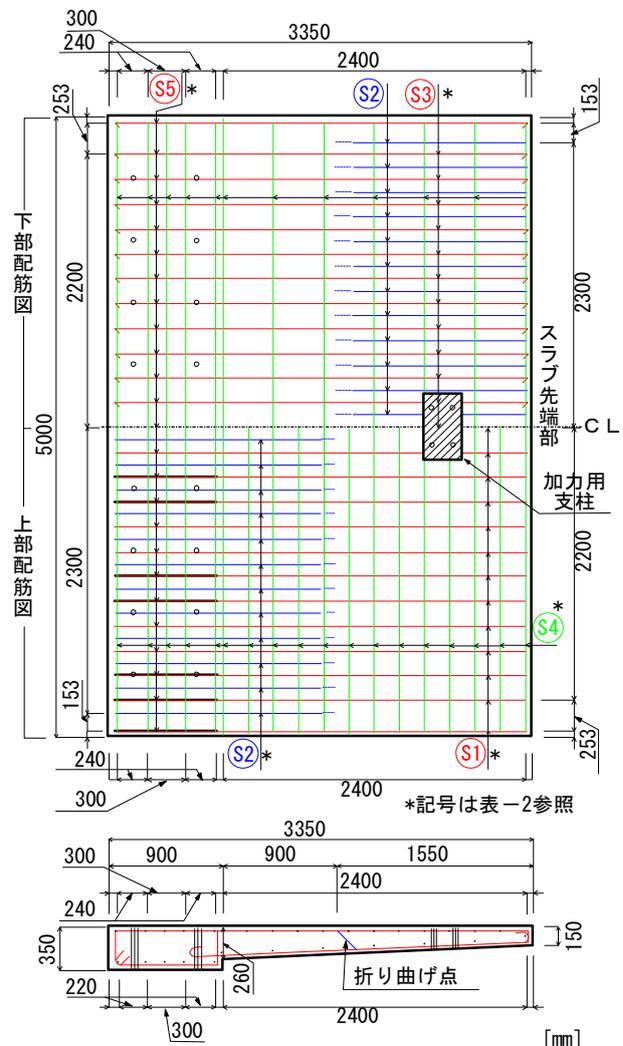


図-1 試験体概要および配筋状況

*1 近畿大学大学院 総合理工学研究科環境系工学専攻 大学院生 (学生会員)

*2 近畿大学 建築学部建築学科 教授 博士 (工学) (正会員)

*3 ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) 土木設計本部

*4 西日本旅客鉄道(株) 構造技術室 (正会員)

を加えた。従来より、ホーム柵には「乗換跨線橋設計指針」の通路突当り面への推力を適用して、旅客による推力として250kg/mの水平力が考慮されていることが多い。本実験においても、上記の推力を作用させて、ホーム可動柵を梁部材、支柱を支点とした支柱間隔に基づいた梁

モデルにより、支点反力を算出した結果を支柱に作用する設計荷重として、支柱1本当たり22.2kNの水平力を作用させることとした。従って、この値(22.2kN)が外力の基準値となる。この外力により、スラブには支柱より内側に等曲げモーメントが作用することになる(図-3)。

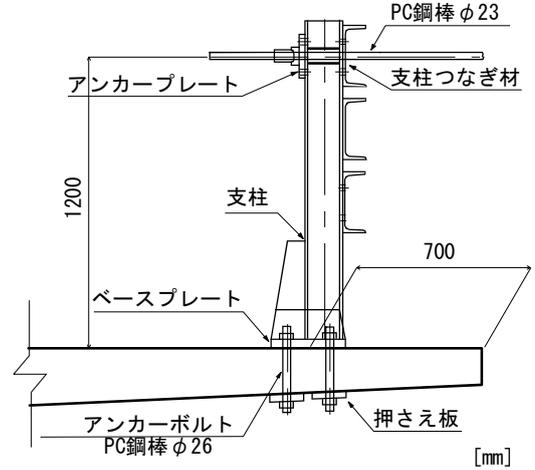
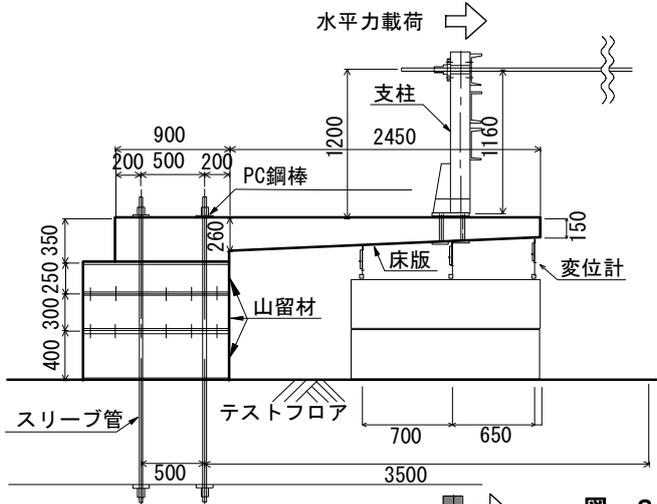


図-2 載荷装置概略図

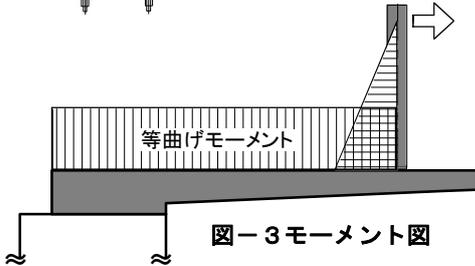


図-3 モーメント図

表-1 コンクリートの力学特性

F_c	圧縮強度 σ_c [N/mm ²]	割裂強度 σ_t [N/mm ²]	ヤング係数E $\times 10^4$ [N/mm ²]
24	33.1	2.73	2.88

(注) テストピース6本の平均値

表-2 鉄筋の力学特性

種別	使用箇所	径	鋼種	降伏強度 σ_y [N/mm ²]	降伏ひずみ [μ]	ピッチ [mm]
S1	主筋	D13	SD295	348	1740	200
S2		D16	SD295	348		
S3		D13	SD295	373		
S5		D13	SD295	373		
S4	配力筋	D13	SD295	353	1765	

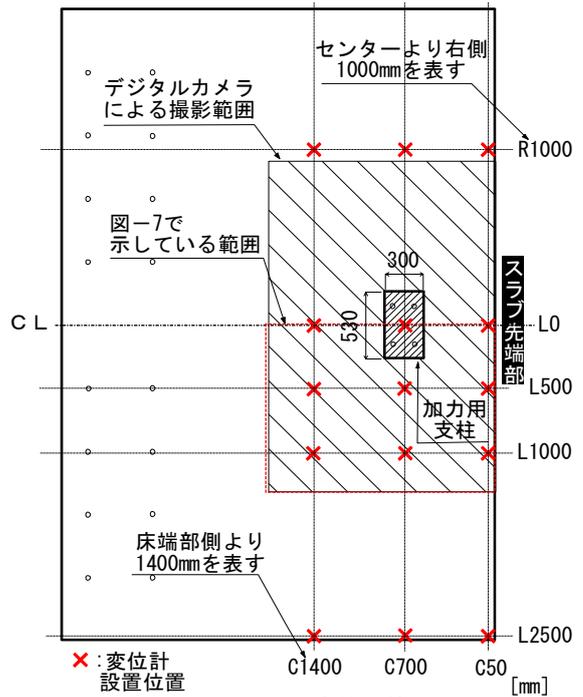


図-4 測定位置等



写真-1 試験体全景

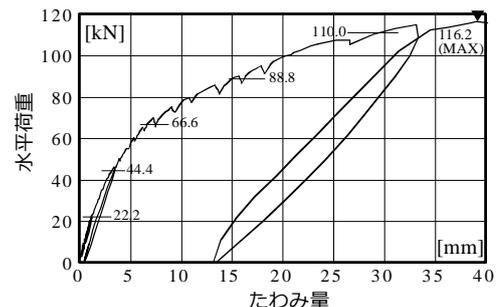


図-5 たわみ量-荷重関係

凡例

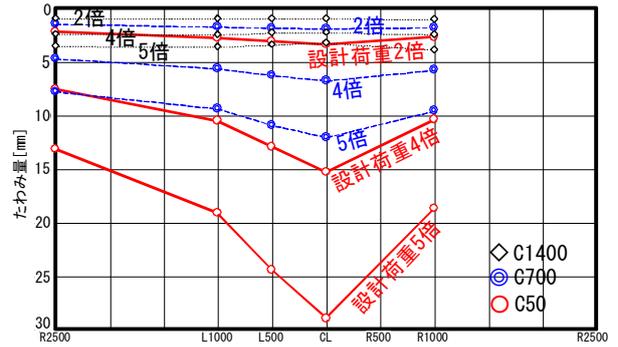
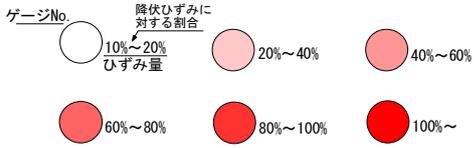


図-6 変位計位置とたわみ量の関係

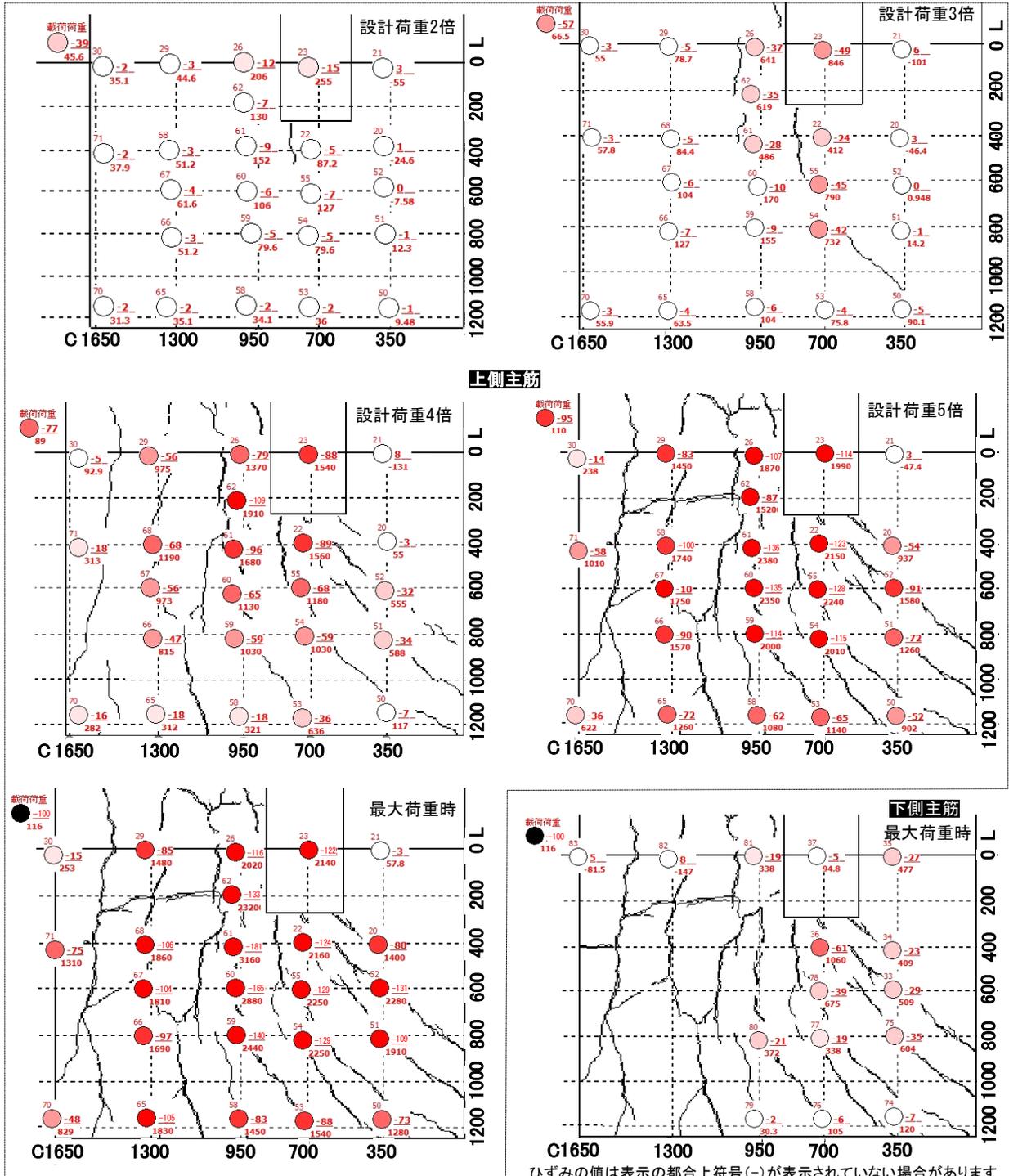


図-7(a) 上下主筋ひずみ分布

支柱の固定は実際の固定方法と同様にスラブを4箇所削孔し、支柱柱脚のプレートとスラブ下面に設置したプレートをPC鋼棒により緊結することにより行った。なお、PC鋼棒とコンクリート間にはグラウト等の注入は行っておらず、PC鋼材には張力の導入は行っていない。測定は、支柱に加える水平力（ロードセル）、スラブたわみ量（変位計：図-4）、主筋、配力筋のひずみ（添付位置は後述）である。また、試験体中央位置の上部に設置した固定デジタルカメラによる撮影を行い、ひび割れの進展状況を記録した。

3. 実験結果

3.1 水平荷重—たわみ関係

図-5に、水平荷重と最もたわみ量の大きくなるスラブ中央の先端位置（L0,C50）でのたわみ量の関係を示す。同図より設計荷重の2倍（44.4kN）程度までは荷重と変形の関係はほぼ比例しており、その後荷重が大きくなるに従い徐々に剛性が落ちることがわかる。ただし、最大荷重は設計荷重の5倍を超える大きな値（116.2kN）である。図-6に、スラブ中央の先端位置を含めた各位置でのたわみ量を、水平荷重が設計値の2倍、4倍、5倍時に

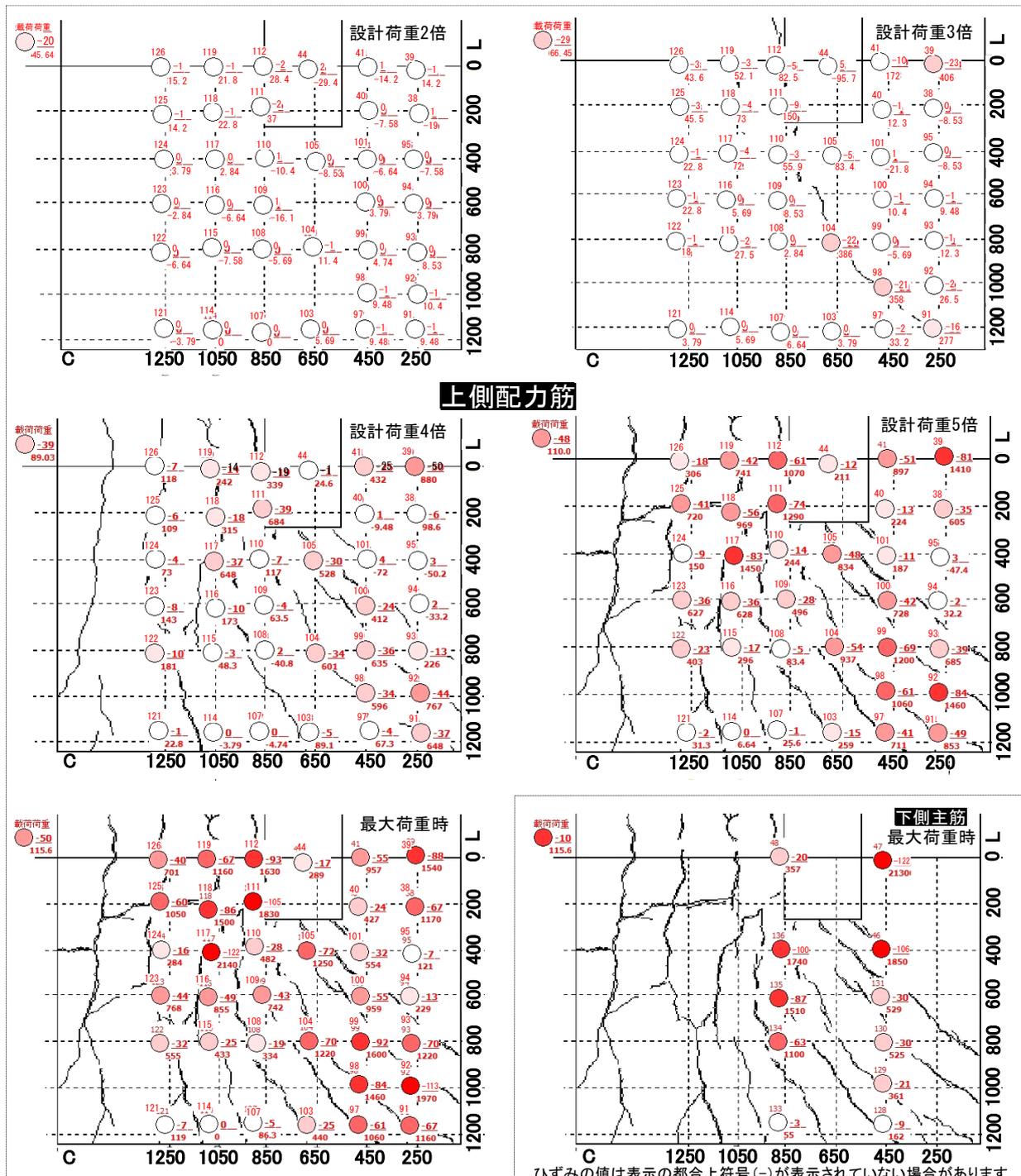


図-7(b) 上下配力筋ひずみ分布

ついて示す。水平荷重が設計荷重 2 倍時のスラブ先端 (C50) でのたわみは、中央位置 (CL) で 3.38mm、最も左端 (L2500) で 2.18mm とその差は 1.5 倍程度である。設計荷重の 2 倍の荷重が作用したときの変形量をスラブが弾性状態にあると仮定して計算すると 2.41mm であり、中央位置と左端の間の値となっている。設計荷重に対し 4 倍、5 倍と荷重が大きくなるに従い、荷重を作用させている中央部分のたわみ量が大きくなることわかる。5 倍時の中央位置 (CL) でのたわみ 29.0mm に対し、左端 (L2500) の値は 13.2mm であり、その差は約 2.2 倍となっている。後述するが、床のひび割れは荷重が設計荷重の 3 倍を超えた時点で多数発生しており、ひび割れ発生に伴い中央部分の変形量が増大していることがわかる。

3.2 ひびわれ状況

図-7にスラブ上面 (左半分のみ) のひび割れ発生状況、および、主筋、配力筋のひずみの値を示す。上面の主筋、配力筋については水平荷重が設計荷重の2,3,4,5倍、および最大時について、下面については最大時のみについて示している。同図より、設計荷重の2倍時に、支柱サイドにスラブ長手方向にひび割れが発生し、その後設計荷重の3倍まではこのひび割れがスラブ先端方向へ弧を描くように進展していく。この時点ではその他の箇所でのひび割れ発生は少なく、支柱より約 200mm 程度内側にスラブ長手方向にひび割れが発生している程度である。これに対し、荷重が設計荷重の3倍から4倍に達する状況では先に発生しているひび割れが拡大するとともに、支柱とスラブ先端部を結ぶ方向、および支柱より内側でスラブ長手方向に多くのひび割れが発生していることが分かる。荷重が設計荷重の4倍~5倍 (最大荷重付近) に達する状況では、新たなひび割れ発生は比較的少なく、4倍までに生じたひび割れが拡大する。また、設計荷重の5倍時の図に示すように、支柱の内側位置に、床材短手方向にひび割れが発生している。これは、支柱周辺の鉄筋 (主筋および配力筋) の降伏が進み、支柱直下の床の変形の増大とともに、支柱より内側位置のスラブが盛り上がる (上側に凸) 変形を受けたためと思われる。

3.3 鉄筋ひずみ

図-7(a)中の鉄筋ひずみの値より以下の事が分かる。設計荷重の2倍時では、前述のようにひび割れもほとんど入っておらず、主筋、配力筋のいずれもひずみの値は小さい。最も大きい箇所 (支柱の内側位置 : C700-L0) で、 255μ (降伏ひずみの 15%程度) である。設計荷重の3倍時では支柱横からスラブ先端部に弧を描くように発生したひび割れ周辺で主筋ひずみが大きくなっており、最大で 846μ と、降伏ひずみの 49%程度となっている。設計荷重の4倍時では支柱周囲の主筋が降伏、あるいは降伏ひずみに近い値となっており、5倍時ではその範囲が急激に拡大していることが分かる。これは荷重-変形関係の所で述べたように荷重が設計荷重の4倍~5倍の載荷段階で変形量が急激に伸びていること、このステージでは新たなひび割れが発生するのではなく、ひび割れの拡大が顕著であったことと一致する。また、主筋が降伏している範囲を求めため、図-8に設計荷重4倍、5倍の上側主筋のひずみ推移を示す。4倍では L0~L200, C0~C950の支柱周囲である範囲が降伏していることがわかる。5倍では L0~L800, C0~C1300の範囲が降伏していることがわかり、4倍と比べてかなり広範囲に拡大したことを確認できる。

3.4 最終破壊状況

写真-2に破壊状況を示す。本試験体は、最終的に支柱からスラブ先端に向かって発生した大きなひび割れにより終局を迎えた。なお、支柱柱脚部分のコンクリートには支柱の回転による局所的な圧縮力作用による損傷等がみられたが、最大耐力付近では、「支柱の回転量の増加」



写真-2 最終破壊状況

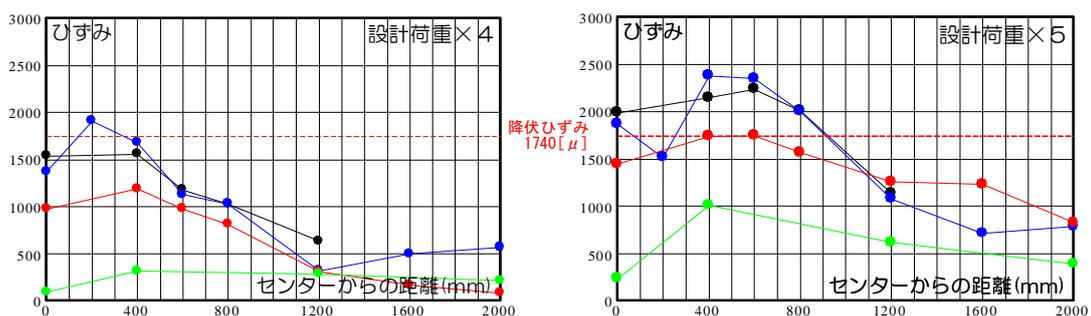


図-8 上側主筋ひずみ推移

に対する「スラブのたわみ量の増加」の割合は大きくなる傾向を示しており、最大耐力は床スラブの曲げ耐力の頭打ちで決定したと考えられる。

4. 耐力評価

図-7に示したようにスラブ上端の鉄筋はスラブ長手方向の最外縁でも引張ひずみを発生している。これは中央部の支柱位置で発生した曲げモーメントがスラブ全幅に渡って広がっていることを示している。しかしながら、スラブ長手方向の各部におけるモーメント負担程度は中央部で大きく端部で小さいことは明らかであり、スラブの曲げ耐力をどのように評価するかについては検討する必要がある。ここでは基礎的な検討として以下の手法で曲げ耐力の算定を行った。

- 1) スラブ全幅の上端主筋が降伏すると仮定して曲げ耐力を評価する
- 2) 実験での最大耐力時におけるスラブ上端主筋のひずみ (906~23460 μ) を基に鉄筋応力を算定し (181.24~348.80N/mm²)、曲げ耐力を評価する

なお、本実験では載荷時の外力がスラブに曲げモーメントと引張力を与えることになるため、RC 柱部材が引張軸力を受けるときの式 (1) を準用して評価を行った。

$$M_u = 0.8 \times a_t \times \sigma_y \times D \times (1 - N/N_{mm}) \quad (1)$$

ここで、 a_t : 引張鉄筋断面積、 σ_y : 引張鉄筋降伏強度、 D : 断面せい、 N : 引張軸力、 N_{mm} : 主筋が全て降伏強度に達するときの引張軸力

また、2)の検討では式 (1) に加え、より精度の高い算定手法として、平面保持を仮定した断面内の力の釣合いから中立軸位置を仮定し曲げモーメントを求めた。なお、圧縮側の鉄筋は考慮せず、コンクリートの応力は弾性と仮定している。計算結果を表-3に示す。

表-3 耐力 (モーメント) 一覧

	(a)	実験値	(b)	(c)
モーメントM [kN.m]	170.7	139.2	134.9	132.4
割合 [%]	122	100	97	95

全主筋が降伏すると仮定し、(1)式を用いて計算した値 (表中 a)) は 170.7kN・m となり、実験の最大値 139.2kN.m (=116kN×1.2m) を約 22%過大評価する。2)の方法で(1)式を用いて計算した値(表中 b))は 134.9kN・m、断面内の力の釣合から計算した値 (表中 c)) は 132.4kN・m となり、実験値のそれぞれ約 97%、95%である。実際の鉄筋ひずみを用いれば、おおよそ実験値を評価できることが分かる。

5. まとめ

既設ホーム片持ちスラブを模した実物大の供試体を作製し、ホーム可動柵に旅客推力を作用させる載荷実験を行った。以下に得られた知見を示す。

- 1) 供試体は設計荷重 5 倍以上の耐力を有しており、設計荷重の 2 倍程度までひび割れは発生せず荷重-変形関係は線形性を保った。
- 2) 設計荷重が 3 倍を超えて大きくなると、ひび割れが顕著に発生し、中央部分のたわみ量が大きくなると同時にスラブ内の鉄筋ひずみが大きくなる。
- 3) 最終破壊は、支柱よりスラブ先端側に大きな亀裂が入ることにより発生した。
- 4) スラブの曲げ耐力は実験で得られた主筋ひずみの値を用いておおよそ評価できる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、近畿大学の犬塚美佳氏 (現 (株)大和ライフネクスト)、玉井利武氏 (現 Oregon State Univ. 大学院生)、(株)国際建設技術研究所の葛目和宏氏、藤原 規雄氏に多大なご協力いただきました。ここに、謝意を表します。