

# 論文 レジンコンクリート永久型枠を用いた RC 素材の載荷性状

坂井俊治\*1・小野定\*2・大和竹史\*3・楠貞則\*4

要旨：接合方法の異なるレジンコンクリート製埋設型枠（以下 REC型枠）を RC 床版の引張側に用いて静的および動的曲げ載荷を実施した。接合方法は W 鉄筋、種石、埋込金具+アンカーボルト、緩衝材を用いた埋込金具+アンカーボルト、ボルト孔から固定したアンカーボルトの 5 種類とした。試験の結果、次の事が明らかとなった。①ひび割れ幅は RC 単独床版より同等か小。②ひび割れ幅はほぼ一定。③破壊荷重は RC 床版の計算値より大。④床版のたわみは計算可。④種石を用いた床版以外の床版はひび割れ発生後の目地の開き、ずれの進展が大。⑤動的載荷では接合方法によりひび割れ幅が異なる。  
キーワード：永久型枠、埋設型枠、レジンコンクリート、防食材料、RC 床版

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造物の塩害、中性化、凍害あるいは酸などによる化学作用による腐食、摩耗などによる損傷に対する劣化防止対策が急務となっている。その一方で、建設従事者の高齢化、絶対数の不足による施工の機械化省人化技術の確立そして、型枠材として用いる木材資源の保護も重要な問題となっている。以上の背景から、内部のコンクリートを劣化から防ぎ、型枠脱型を不要にして施工の省人化を図る高耐久性を付与した埋設型枠すなわち永久型枠は生まれたものである。

筆者らはその優れた防食性、施工性が認められており、なおかつ景観材料としての利用ができるレジンコンクリート製埋設型枠〔1〕、〔2〕の研究に取り組んでいる。レジンコンクリートの特長としては、セメントコンクリートに比べ高い圧縮強度、曲げ強度、耐摩耗性を有していること、耐薬品性とくに耐酸性に優れていることなどが挙げられる。レジンコンクリートは下水道管など主に耐酸性、耐摩耗性、平滑性が要求される範囲での利用が多く、RC 床版曲げ部材としての利用は少ないが、現在までに曲げ部材への適用〔3〕、〔4〕も研究されている。

本研究においては、コンクリートとの接合方法が異なり、かつ目地を有する REC型枠を用いた床版に着目し、複数の RC 床版を製作し、静的曲げ載荷試験、動的曲げ載荷試験を行いそれらの挙動と、REC型枠の RC 床版への適用性について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 静的載荷試験

REC型枠の接合方法の種類を表-1に、その模式図を図-1に示す。床版の種類は RC 床版と REC型枠（450×600×20mmのもの3枚）を用いた RC 床版である。REC型枠を用いた床版の名称は

\*1 麻生セメント（株）中央研究所（正会員）

\*2 清水建設（株）土木本部技術第一部副部長、工博（正会員）

\*3 福岡大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

\*4 福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻

その接合方法を用いて、W鉄筋床版、種石床版、緩衝材無し床版（埋込金具+アンカーボルト）、緩衝材有り床版（埋込金具+アンカーボルト+緩衝材）、ボルト床版とした。

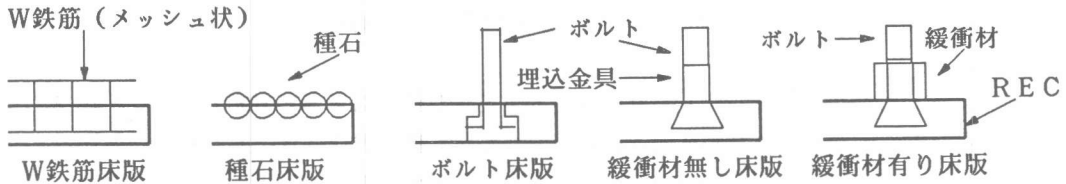


図-1 接合方法模式図

床版の形状および、寸法を図-2に示す。床版の測定はひび割れ、ひずみ、たわみ、目地の開き、REC型枠とコンクリート部のずれ、剥離、AEについて行った。ここで、ずれは供試体の接合部におけるREC型枠とコンクリート部の水平変位の差、剥離はREC型枠部とコンクリート部のたわみの差とした。AEセンサーは、140kHz共振型で閾値は60dbとして、コンクリート部とREC型枠部にそれぞれ1点をシリコングリスで取り付けた。なお、載荷条件はスパン2m、3等分点2点載荷として、ひび割れが確認できるまで載荷した後、0.15tfまで除荷し、再び破壊に至るまで載荷した。なお、供試体は各1体とした。

### 2.2 動的載荷試験

動的載荷試験は、RC床版、W鉄筋床版、種石床版についてのみ行った。載荷方法を図-3に示す。静的破壊荷重の約40%(5.0tf)を上限荷重、2%(0.3tf)を下限荷重として100万回の繰返し載荷を行い、その後上限荷重を約60%(8.0tf)に増加して再び繰返し載荷した。また、波形はsinカーブで、繰返し速度は1~1.5Hzとした。なお、測定項目、供試体数は静的載荷試験と同様である。

### 2.3 使用材料および配合

RC床版とREC型枠に用いたコンクリートは、早強セメントを使用した。最大骨材寸法20mm、スランプ12cm、空気量4%、28日圧縮強度は245kgf/cm<sup>2</sup>であった。REC埋設型枠に用いたレジンコンクリートの配合および強度を表-2に示す。なお、硬化剤、促進剤はそれぞれメチルエチルケトン<sup>TM</sup>-オキサイド、ナフテン酸<sup>TM</sup>ボルトを使用した。

表-1 REC埋設型枠の接合方法

1	W鉄筋	メッシュ間隔:50×50mm つなぎ筋の線径:φ3.2mm つなぎ筋の高さ:35mm
2	種石	種石の径:5~10mm 種石は全面に配置する
3	埋込金具+ アンカーボルト	アンカーボルトの径:M12 アンカーボルト本数:4本
4	埋込金具+ アンカーボルト 緩衝材有り	アンカーボルトの径:M12 アンカーボルト本数:4本 緩衝材(ゴム管 t:2mm)本数:4本
5	ボルト孔+ アンカーボルト	アンカーボルトの径:M12 ボルト孔のクリアランス:φ20

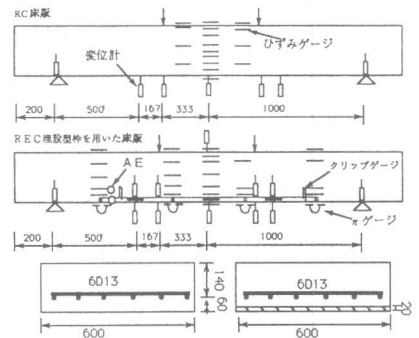


図-2 床版の形状寸法 単位:(mm)

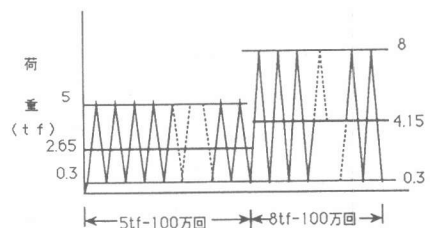


図-3 繰返し載荷方法

表-2 レジンコンクリートの配合(wt%)と強度(kgf/cm<sup>2</sup>)

ヒ'ニルエステル樹脂他*	砕石1005	3号珪砂	5号珪砂	フライアッシュ	圧縮強度	曲げ強度	引張強度
12.0	30.4	22.8	22.8	12.0	982	236	115

\*ヒ'ニルエステル樹脂：硬化剤：促進剤＝100：1.0：0.5

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 静的載荷試験結果

表-3に静的載荷試験の結果を、図-4に3.0tf時のひび割れ状況を示す。REC型枠の床版のひび割れ発生位置はいずれも載荷点内側のREC型枠とコンクリート部との境界面であった。種石床版を除くREC型枠の床版は、RC床版と比べひび割れ発生が早くその位置は、W鉄筋床版では接合部のメッシュ筋端部で、ボルト床版、緩衝材有り床版、緩衝材無し床版ではアンカーボルト位置であった。なお、ボルト床版では目地直上コンクリート部においてもほぼ同時にひび割れが発生した。種石床版では目地および目地直上のコンクリート部のひび割れが顕著に現れ破壊に至った。REC型枠の床版のひび割れ幅はいずれも明確な差異はなく、RC床版より同等かまたは小さく、またひび割れ間隔も種石床版を除きREC埋設型枠の床版はRC床版と同等か、それ以下となった。REC型枠にひび割れが発生したものは種石、ボルト、緩衝材有り床版であった。REC型枠のひび割れはひび割れ発生と破壊が同時に起こることが挙げられる。表-4からボルト系の床版は、W鉄筋床版、種石床版と比べAE発生数が多かった。図-5に中央部の剥離を示す。ここでもボルト系の床版は他の床版に比べ剥離が大きかった。

図-6にたわみの測定結果を示す。ひび割れ発生前までは総ての床版において剛性は等しいが、ひび割れ発生後では荷重の増加とともに種石床版とそれ以外の床版に差異が生じている。図-6から種石床版が他のREC埋設型枠の床版と比べ、接合性が良好で引張力をREC埋設型枠が負担しているのがわかる。種石床版、RC床版の理論たわみの計算は、曲げひび割れが発生していない場合は全断面有効として弾性理論を用いて計算し、曲げひび割れ発生後は、曲げひび割れによる剛性低下を考慮して、式(1)に示している換算断面2次モーメント式(Branson式)を用いて、たわみの理論式で半解析的に求めた理論値である。この理論値は実測値と極めてよい一致が見られた。

表-3 静的載荷試験結果

床版の種類	ひび割れ発生荷重(tf)		破壊荷重(tf)
	コンクリート	REC埋設型枠	
RC床版	2.1		13.6
W鉄筋床版	1.7	-	13.8
種石床版	2.7	9.0	13.2
ボ'ルト床版	1.4	13.0	13.2
緩衝材無し床版	1.5	-	13.1
緩衝材有り床版	1.5	12.8	13.8
RC床版計算値	2.3		10.1

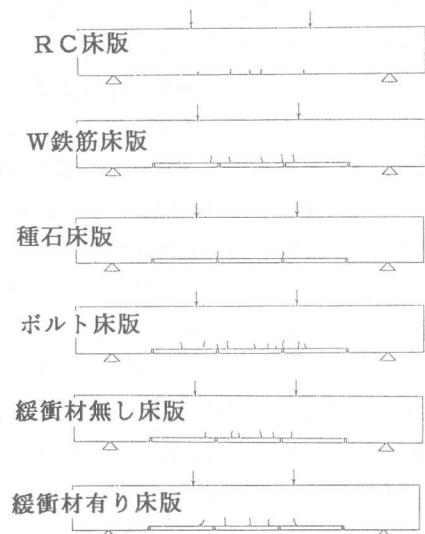


図-4 3.0tf時のひび割れ状況

表-4 AE発生数

種類	AE発生数
W鉄筋床版	602
種石床版	202
ボ'ルト床版	8156以上
緩衝材無し床版	1281
緩衝材有り床版	2699

$$I_e = [Mcr/M]^3 \cdot I_g + \{1 - [Mcr/M]^3\} \cdot I_{cr} \dots (1)$$

ここで、

- I<sub>e</sub> : 有効断面 2 次モーメント
- M<sub>cr</sub> : 断面に曲げひび割れが発生する限界の曲げモーメント
- M : 曲げモーメント
- I<sub>g</sub> : 全断面の断面 2 次モーメント
- I<sub>cr</sub> : 引張応力を受けるコンクリートを除いた断面 2 次モーメント

図-7 に目地の開きの変化を示す。たわみと同様にひび割れ発生前後から急激な変化が見られる。図-8 にずれを示す。5tfあたりを過ぎると接合方法によらず接合面の変化が顕著に見られる、種石床版ではずれが殆どない。

本試験において REC型枠は接合方法によらずひび割れ幅を抑制させる効果があると考えられる。REC型枠のひび割れは発生と破壊が同時に観察された。これは、レソノコンクリートの特徴と考えられる。また、ボルト系の床版は REC型枠とコンクリートの接合部のアンカーボルトの円孔縁に応力が集中し、接合部の付着強度は他の床版より比較的弱いと考えられる。これは、他の床版に比べ、ひび割れがボルト位置に見られること、AE発生数が増えることから接合部周辺の損傷が多いと推測されること、および中央部の剥離が多いことから推察される。種石床版において破壊荷重の7割弱の9tfで REC型枠にひび割れが発生した原因として、ずれが殆どなく接合面の付着性を確保していることから、他の床版よりも REC型枠に大きい引張力を負担させたことが考えられる。

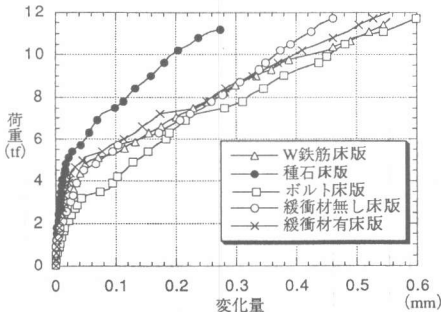


図-7 目地の開き結果

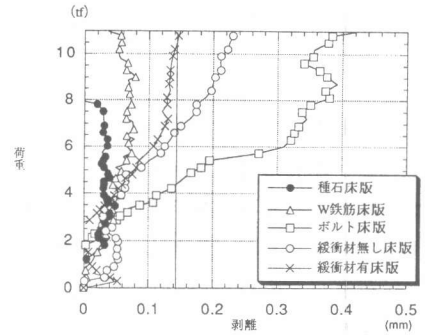


図-5 中央部剥離の比較

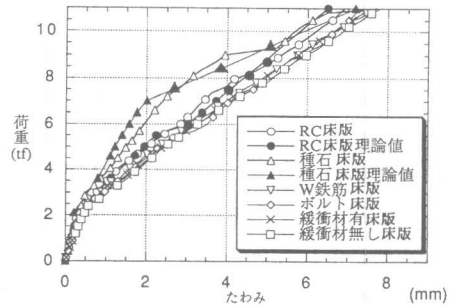


図-6 たわみ測定結果

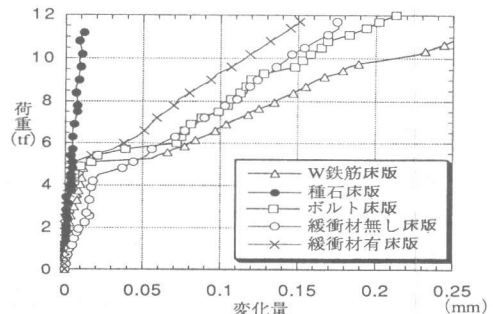


図-8 ずれ測定結果

### 3.2 動的載荷試験結果

表-5 に床版の動的載荷試験結果を示す。ひび割れ発生位置は静的載荷試験結果と同様にW鉄

筋床版ではメッシュ筋端部、種石床版では目地部のみであった。なお、W鉄筋床版のひび割れ発生間隔はRC床版のそれ以下であった。図-9に繰り返し载荷数とひび割れ幅の関係を、図-10に10万回時のひび割れ状況をそれぞれ示す。W鉄筋床版では、1回目から、100万回载荷後に至るまで他の床版と比べひび割れ幅が小さく、種石床版では1回目はRC床版と比較してひび割れ幅は小さかったが、繰返し载荷を追うごとにひび割れ幅は増加した。静的载荷試験ではREC型枠は接合方法に関係なくひび割れ幅を抑制する効果があり、ひび割れ幅には大きな違いはなく、RC床版のそれより小さかったが、動的载荷試験ではREC型枠の接合方法によりひび割れ幅が異なっていた。図-11に繰返し载荷回数と床版中央部の全たわみの関係を示す。ここで全たわみとは、上限荷重時の床版のたわみから下限荷重時の床版のたわみを差し引いたものである。総ての床版は载荷直後にたわみが急激に増加し、その後もRC床版とW鉄筋床版は同様に繰返し载荷と共に増加した。一方、種石床版は他の床版よりたわみの増加量が小さかった。図-12に繰返し载荷による目地の開きを示す。载荷直後では、種石床版はW鉄筋床版に比べて、目地の開きは小さいが、5.0tf-100万回载荷後では両者ともほとんど差がない。また、W鉄筋床版は1回目の载荷以降の目地の開きはなく、種石床版は目地部でのひび割れ進展とともに目地部が開いてきた。これは、ひび割れ幅の傾向と似ている。図-13に繰返し载荷によるREC型枠とコンクリート部のずれを示す。繰返し载荷を行っても種石床版にはずれがほとんどなかった。これは、静的载荷試験と同様の結果である。一方、W鉄筋床版は静的载荷試験では5.0tf付近までは大きな変化はなかったが、5.0tfの繰返し载荷試験では10000回付近を境にして大きく変化している。上限荷重40%では100万回で破壊した床版はなく、上限荷重60%にするとW鉄筋床版は他の床版よりやや早めに破壊した。なお、REC型枠はW鉄筋床版、種石床版ともに破壊した。

本試験よりW鉄筋床版はひび割れを分散させ

表-5 動的载荷試験結果

床版の種類	破壊回数	備考
RC床版	1243560	
W鉄筋床版	1077640	-
種石床版	1232850	REC埋設型枠は、床版と同時破壊

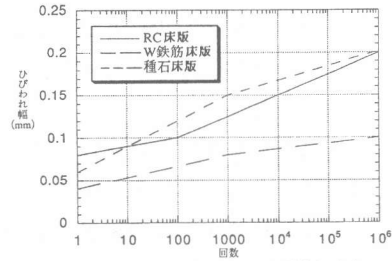


図-9 繰返し回数とひび割れ幅

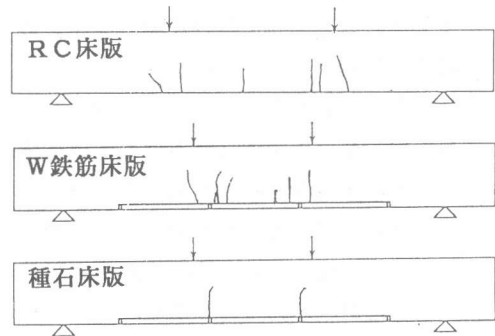


図-10 10万回時のひび割れ状況

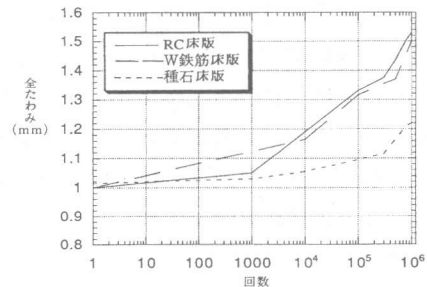


図-11 繰返し回数と全たわみ

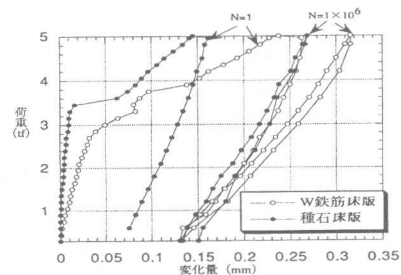


図-12 繰返し回数と目地の開きの関係

ているとみることができる。これはW鉄筋のメッシュ筋の効果によると思われる。また、目地の開きの挙動もメッシュ筋の効果と考える。種石床版は静的載荷試験同様他の床版より大きな引張力を負担していると考えられる。

#### 4. まとめ

今回の REC埋設型枠を用いた床版の載荷試験により以下のことが明らかになった。

静的載荷試験については、

- (1) REC型枠を用いた床版は、RC床版と比較してひび割れ幅が同等かまたは小さい。また REC型枠を用いた床版の間に明確なひび割れの差異は認められなかった。
- (2) 破壊荷重はすべての床版においてRCの計算値より大きい。
- (3) たわみは REC型枠を無視し、ひび割れによる剛性低下を考慮することで算定可能とえられる。
- (4) 種石床版以外ではひび割れ発生後の目地の開きおよびずれの進展が大きい。

動的載荷試験については、

- (5) 種石、W鉄筋など REC埋設型枠の接合方法によりひび割れ幅に違いがでた。
- (6) 動的載荷によるたわみは静的載荷試験と同じく種石床版がたわみにくく、RC床版とW鉄筋床版が同様な挙動を示した。
- (7) 目地の開きは、種石床版においては1サイクル目では小さいがひび割れの進展とともに大きくなった。一方、W鉄筋床版においては1サイクル目で目地の開きがかなり認められたが、それ以降の進展は認められなかった。

本試験においては供試体数が各1体のため、供試体のばらつきが結果に反映されていない。よって、更に複数の供試体を製作して検討する必要がある。今回、コンクリートとの接合方法の異なる複数の REC型枠を用いたRC床版の載荷試験を実施したが、REC型枠のRC床版の適用は、剛性においては REC型枠とコンクリートの接合力に依存し、本研究の範囲内では種石が最も良好であった。一方、W鉄筋においてはひび割れを分散させる結果も得られた。最後に本研究を行うにあたり福岡大学の井上氏、同大学コンクリート研究室学生の荒牧氏、白谷氏に多大のご協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

#### 参考文献

- [1] (財) 土木研究センター：土木系材料技術・技術審査証明報告書（技審証第0504号）、1994
- [2] (財) 土木研究センター：土木系材料技術・公募型技術審査証明報告書（公技審証第0505号）、1994
- [3] 大和竹史・小野定・松尾一四・山本孝義：レジンコンクリート埋設型枠を用いたRC床版の載荷性状、平成4年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp774-775、1993.3
- [4] 大和竹史・楠貞則・小野武彦・山内一夫・松尾一四：レジンコンクリート埋設型枠を用いたRC床版の載荷性状、平成5年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp886-887、1994.3

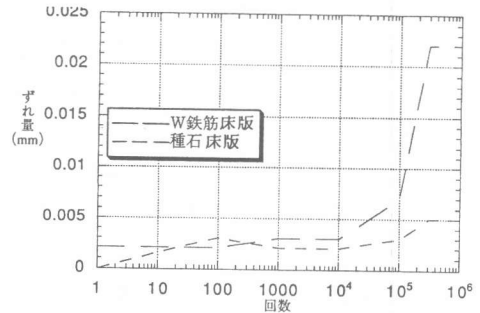


図-13 繰返し回数とずれの関係