

走行荷重がRCスラブの耐力に及ぼす影響と破壊メカニズム

木田 哲量(土木工学科)・阿部 忠(土木工学科)・澤野 利章(土木工学科)

1. はじめに

鉄筋コンクリート（RC）スラブの曲げ・せん断耐力は、静的荷重に対しては十分確保されていても、走行荷重や移動荷重が作用した場合は著しく低下することがある。とくに、走行荷重が作用する道路橋RC床版では、耐力および疲労寿命が低下し、かなり早い段階でひび割れ損傷が生じて、はり状化することが知られている^{1), 2)}。これらのことから筆者らは、走行荷重がRCはりの静的曲げ・せん断耐力に及ぼす影響について実験・研究を行ってきた。その結果、RCはりに走行荷重や連続的に移動する荷重が作用した場合の曲げ・せん断耐力は、静的荷重が作用した場合と比較すると著しく低下する結果を得た^{3), 4), 5)}。そこで本研究は、RCスラブの走行荷重による最大耐力および破壊機構の解明を目的とし、荷重の種類に影響要因とした実験を行った。実験では、①静荷重載荷実験、②走行荷重載荷実験を行い、走行荷重がRCスラブの最大耐力に及ぼす影響および破壊メカニズムを静荷重の載荷による場合と比較・検証した。

2. 供試体および計測方法

2.1 使用材料

供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm³）と最大寸法 20mm の粗骨材（SSDC 2.63g/cm³），細骨材（SSDC 2.61 g/cm³）等を使用した。また、鉄筋は SD295A, D10 を用いた。コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-1 に示す。

表-1 材料特性値

供試体	コンクリート		鉄筋 (SD295A)		
	圧縮強度 N/mm ²	呼び 径	降伏点 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²
RCS	39.3	D10	370	511	200

2.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体の支間は 100cm とし、供試体の張り出し部は 12.5cm で、全長 125cm の正方形版とする。鉄筋は軸直角方向に 10cm 間隔で配置し、有効高さは $d = 7.5\text{cm}$ とする。また、軸方向には 15cm 間隔で配置し、有効高さは $d = 6.5\text{cm}$ とする。なお、供試体の名称は静荷重の場合を RCS-S とし、走行荷重載荷の場合を RCS-R とする。RCスラブの寸法および鉄筋の配置を図-1 に示す。

2.3 計測位置

RCスラブの中央における軸直角方向および軸方向に配置した引張鉄筋のひずみとスラブのたわみを計測する。なお、計測位置を図-1 に併記した。

3. 実験方法および荷重方法

3.1 静荷重載荷実験

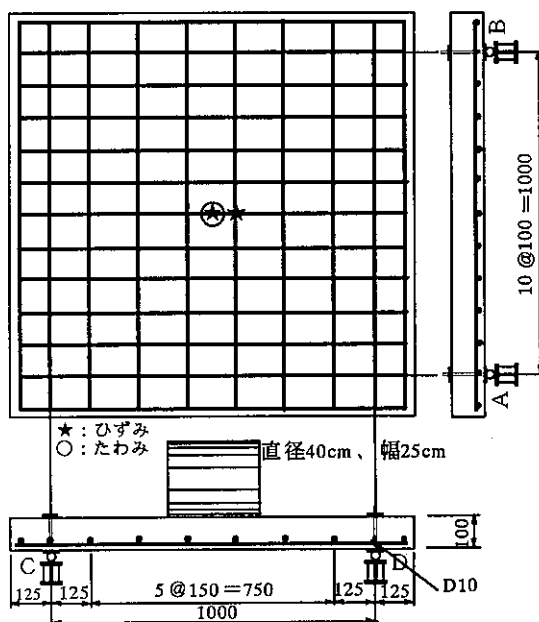


図-1 寸法および計測位置(単位: mm)

RCスラブの支持条件は、浮き上がり防止を設けない4辺単純支持とした。静荷重載荷実験における載荷方法は、スラブの中央に車輪を停止した状態で載荷する。荷重の大きさはRCはりと同様に5.0kNずつ供試体が破壊するまで増加させ、ダイヤルゲージで変位が安定停止した後に計測する。

3.2 走行荷重載荷実験

スラブの中央に車輪を停止させ、載荷位置から軸方向に±50cm 走行させて元の支間中央で停止させて、変位が静止した後に計測する。荷重は静荷重載荷同様に5.0kNずつ増加し、車輪の走行速度は1往復2.0mを9secとする0.22m/sとした。

4. 最大耐力および鉄筋ひずみ

4.1 押し抜きせん断耐力

本実験の走行荷重載荷における最大耐力は、繰り返し往復走行を維持し得た最大荷重とする。本実験の最大耐力、理論耐力、たわみおよび破壊モードを表-2に示す。

表-2 実験耐力および破壊モード

供試体	実験最大耐力 (kN)	平均値 (kN)	$\frac{R}{S}$ (平均値)	理論値	実験耐力/理論値	最大変位 (mm)	破壊モード
RCS-S1	119.8	124.8	—	119.70	1.00	10.8	押し抜きせん断
RCS-S2	129.7				1.08	9.2	押し抜きせん断
RCS-R1	94.4	92.1	0.74		0.79	7.4	押し抜きせん断
RCS-R2	89.8				0.75	7.1	押し抜きせん断

(1) RC床版の押し抜きせん断耐力

RCスラブの設計押し抜きせん断耐力 V_{pcd} は、土木学会式(1)⁹⁾より算出した。

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b \quad (1)$$

ここで、 β_d : 寸法効果の係数、 β_r : 載荷板周長の影響を表す係数、 β_p : 鉄筋比の影響を表す係数、 f_{pcd} : コンクリートの強度の影響を表す係数、 u_p : 載荷板から $d/2$ 離れた断面周長、 d : 有効高さ、 γ_b : 部材係数 (=1.0)

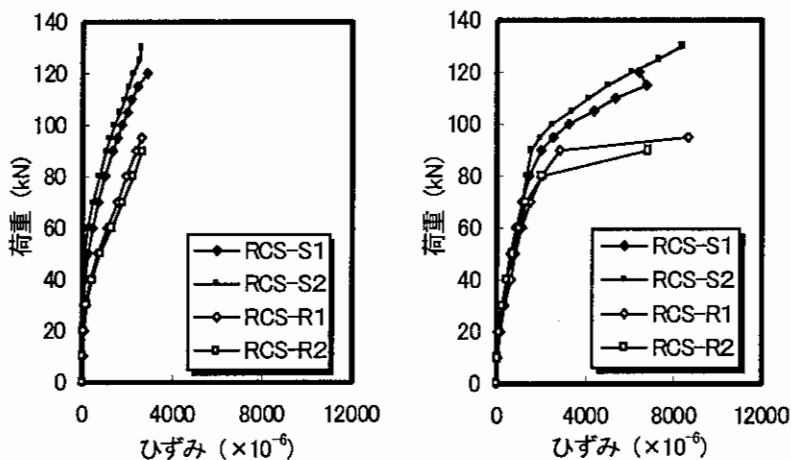
(2) 実験耐力と理論耐力

実験による平均最大耐力は静荷重の場合 124.8kN、走行荷重の場合 92.1kN であった。これらの耐力比 R/S は 0.74 となり、走行荷重が作用することにより耐力が 26% も低下した。次に、実験耐力と理論耐力を比較すると静荷重の場合はほぼ近似したが、走行荷重の場合は RCS-R1 は 21%、RCS-R2 は 25% 実験値が理論値を下回り、かなり危険側となった。

4.2 RCスラブの鉄筋ひずみ

RCスラブの中央における軸方向・軸直角方向の鉄筋ひずみを図-2に示した。なお、本実験に用いた鉄筋の降伏ひずみは表-1に示した材料特性値より 1840×10^{-6} である。

軸直角方向の鉄筋、すなわち主鉄筋のひずみは図-2(a)に示すように、静荷重の場合は平均荷重 107.5kN で降伏している。その後の荷重増加により耐力を維持しながらひずみが上昇し終局時のひずみは約 2800×10^{-6}



(a) 軸直角方向鉄筋 (b) 軸方向鉄筋

図-2 RCスラブの鉄筋ひずみ

となり、その後の荷重増加で押し抜きせん断破壊となった。また、走行荷重の場合の主鉄筋の降伏荷重は 80.0kN であり、終局時のひずみは 2600×10^{-6} となり、その後の荷重増加で押し抜きせん断破壊となった。

静荷重の場合と走行荷重の場合の降伏荷重比 R/S は 0.74 となり、表-2 に示したスラブの耐力比と近似した比となっている。

次に、軸方向鉄筋は図-2 (b) に示すように、静荷重の場合は 92.5kN、走行荷重の場合は 80kN で降伏している。荷重とひずみの関係から、静荷重の場合は塑性域でも耐力を維持しながらひずみが上昇し、終局時のひずみは RCS-S1, S2 で、 6500×10^{-6} 、 8500×10^{-6} となり、破壊に至っている。また、走行荷重の場合は塑性域でひずみが急激に増加し RCS-R1, R2, で 6500×10^{-6} 、 8700×10^{-6} で破壊している。そして、静荷重の場合と走行荷重の場合の降伏荷重比 R/S は 0.86 となった。これは、走行荷重が作用する RC はりの場合の耐力低下率と同様⁹⁾である。

5. 破壊状況

本実験における破壊時のひび割れ状態の一例を図-3 に示した。なお、ひび割れ状況は各実験ともに同様の傾向を示していることから、供試体は RCS-S1, RCS-R1 のものを用いた。

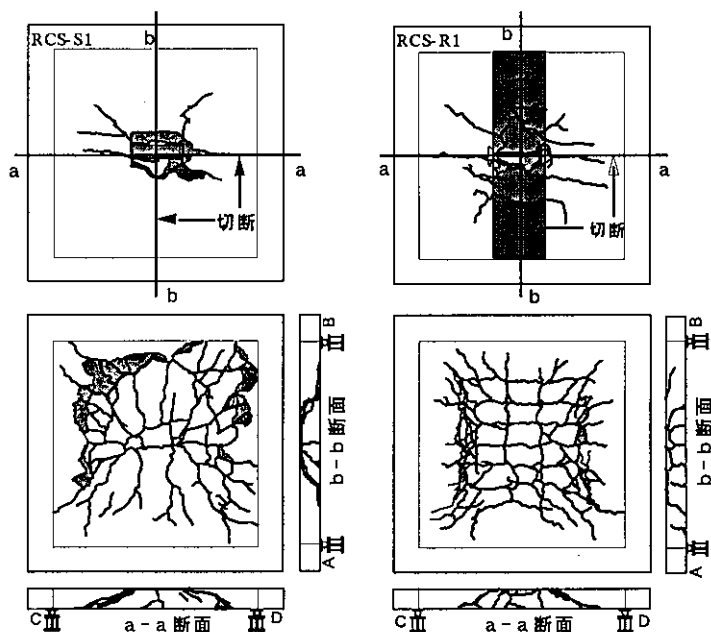
(1) 静荷重載荷の場合

1) スラブの上・下面の破壊状況

静荷重載荷の場合のスラブの上面は図-3 (a) に示したように、供試体 RCS-S1, 2 ともに、輪荷重の載荷面積は $25\text{cm} \times 4\text{cm}$ であるにも関わらず破壊面は $25\text{cm} \times 25\text{cm}$ で押し抜かれている。これは、底面の破壊形状と関連するが、本供試体は4辺単純支持の正方形スラブであって、ひび割れは降伏線方向に沿って発生したことから、ほぼ正方形に近い形状で押し抜かれたものである。したがって、スラブの下面も上面の破壊面から降伏線方向にひび割れが発生し、せん断破壊面はダウエル効果によりコンクリートがはく離している。静荷重の場合の破壊モードは、荷重増加中に支間中央で押し抜きせん断破壊となった。

2) スラブの断面の破壊状況

供試体の支間中央を軸直角方向 (a-a 断面) および橋軸方向 (b-b 断面) における切断面のしたひび割れ状況を図-3 (a) に示した。まず、a-a 断面では、車輪直下から約 $30 \sim 45^\circ$ の拡がりを持つせん断破壊となり、引張鉄筋の外側にはダウエル効果により 5.0cm 程度のはく離が見られる。次に、b-b 断面では、荷重の接地面が 4cm であるにも関わらず、接地面から軸方向に 25cm の位置から下面方向に約 $45 \sim 50^\circ$ の拡がりですせん断破壊面を形成し、せん断破壊面から外側にはコンクリートのはく離が見られる。したがって、静荷重の場合の破壊モードは押し抜きせん断破壊である。



(a) 静荷重載荷

(b) 走行荷重載荷

図-3 RCスラブのひび割れ形状

(2) 走行荷重載荷の場合

1) スラブの上・下面の破壊状況

スラブの上面のひび割れは図-3 (b)に示すように、スラブ中央の荷重載荷位置付近から軸直角方向に 10cm ~ 13cm 間隔で発生し、とくに走行面が著しい。しかし、静荷重と異なり、降伏線の影響による正形状の抜け落ちは見られない。

次に、スラブの下面のひび割れは、主鉄筋方向に 10cm 間隔で発生している。さらに、荷重の増加と走行によって主鉄筋方向にも 15cm 間隔で発生し、格子状を形成している。このひび割れ状況は、文献⁵⁾に示した実橋の RC 床版の損傷状況と同一形状を示している。

2) スラブの断面の破壊状況

支間中央を軸直角方向 (a-a 断面) および橋軸方向 (b-b 断面) における切断面のひび割れ状況を図-3 (b)に示した。a-a 断面では静荷重と同様に、車輪直下からアーチ作用により約 30~45° の拡がりを持つせん断破壊形状を示し、ダウエル効果によるはく離も生じている。また、b-b 断面では RC はりの走行荷重載荷時のひび割れパターンと類似⁵⁾している。したがって、このひび割れ形状は実橋のひび割れ損傷に見られるはり状化と同様となっている。軸方向の破壊状況からは、ダウエル効果によるはく離は見られない。したがって、走行荷重の場合、軸直角方向ではせん断破壊であり、軸方向では RC はりに走行荷重が作用した場合と同様に曲げ引張破壊となっている。すなわち、走行荷重の場合、曲げ卓越型押し抜きせん断破壊となる。

6. まとめ

- ① RC スラブの押し抜きせん断耐力は、走行荷重の場合は静荷重のものに比較すると、25% 低下した。
- ② RC スラブの実験耐力は理論耐力と比較すると、静荷重の場合は近似するが、走行荷重の場合は 20~25% 低下し、かなり危険側となった。
- ③ RC スラブの破壊モードは、静荷重の場合には押し抜きせん断破壊となったが、走行荷重の場合にはり状化することから曲げ卓越型押し抜きせん断破壊となった。

今後、ハイテク・リサーチ・センターの実験装置を使用して、走行位置によるスラブの限界耐力推定および振動荷重による実験研究を続ける所存である。

参考文献

- 1) 川口昌弘, 柳沼善明, V. R. Macam Jr., 飯井幸弘: 走行荷重による RC モデルはりの疲労強度実験, 構造工学論文集, Vol.38A, pp.1265~1274, 1992.3
- 2) 松井繁之: 移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文集, Vol.9, No. 2, pp. 677~632, 1987
- 3) 歐 志生, 星埜正明, 阿部 忠: 移動荷重が RC はりの静的せん断耐力に及ぼす影響, 土木学会 54 回年次学術講演会, pp. 598~599, 1999
- 4) 阿部 忠, 木田哲量, 澤野利章, 坪松学: 走行荷重が作用する RC はりの曲げ耐力と動的影響に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No. 3, pp. 763~768, 2000.6
- 5) T. Abe, T. Kida, T. Sawano, M. Hoshino and K. Kato: Flexural Load-Carrying Capacity and Failure Mechanism of RC Beam with Low Effective Depth under Running Wheel-Load, Materials Science Research International, Vol.7, No.3, pp. 186-193, 2001.9
- 6) 土木学会; コンクリート標準示方書(設計編), 土木学会, 2001.9