

図一 水平ひび割れ測定法

図三 水平ひび割れ・柱状サンプル採取位置

図四 柱状サンプルによる水平ひび割れ診断

(2) 供試体寸法および鉄筋の配置 本供試体の寸法は、道示の規定に準拠し、設計条件は支間 2.4m, B 活荷重, 大型車両の 1 日 1 方向の計画交通量 2,000 台以上として設計し, 3/5 モデルとする。ここで, 3/5 モデルとした供試体寸法および鉄筋の配置を図一に示す。

RC 床版供試体の寸法は, 全長は 1,600mm, 支間 1,400mm, 床版厚 150mm の等方性版である。鉄筋は複鉄筋配置とし, 引張側の軸直角方向および軸方向に D13 を 120mm 間隔で配置した。その有効高さは, それぞれ 125mm, 112mm である。また, 圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。

#### 4. 水平ひび割れの測定方法および検証方法

(1) 水平ひび割れの測定法 水平ひび割れの発生状況の検証位置を図一に併記する。

輪荷重走行疲労実験における水平ひび割れは図一に示す軸方向の走行範囲の曲げ領域, すなわち軸方向の両支点からの距離  $L$  からせん断スパン比  $a = 2.5d$  を除いた曲げ領域の範囲とし, 中央から 200mm ごとに計 5 箇所とする。

水平ひび割れ発生時の測定法は, 水平ひび割れ付近, すなわち圧縮鉄筋配置付近まで  $\phi 12\text{mm}$  の孔をドリルで穿孔し, 水を満水し, ひび割れ発生に伴う減水深さを計測するものとする。ここで, 簡易的な水平ひび割れの測定方法を図二に示す。図二①に示すように,  $\phi 12\text{mm}$ , 圧縮鉄筋位置, 深さ 25mm まで孔を削孔する。本実験では, たわみの増加ごと, 孔に水を満水し(図二②), 5 分後に減水深さを計測する(図二③)。

次に, 水平ひび割れ発生時の計測は, 輪荷重走行疲労実験の過程で, たわみが 2.5mm, 3.0mm, 3.5mm, の時点で実施し, 3.6mm から 4.1mm までは 1mm ごと, その後は 4.5mm の時点で行うものとする。

(2) 破壊後の水平ひび割れの検証 破壊時の水

平ひび割れの検証は, 輪荷重走行疲労実験において, 供試体が破壊した後に柱状サンプル<sup>1)</sup>を採取し, 検証する。ここで, 柱状サンプルを採取する位置を図三に示す。図三より, 輪荷重走行範囲の軸方向中央付近から 200mm 間隔で 7 箇所を診断する。本来試験体を軸方向に切断することで水平ひび割れの発生状況を確認できる。しかし, 維持管理においては床版の切断は不可能である。そこで阿部らは, 小口径コアドリル試験機を用いて RC 床版のコンクリート内部を診断する「コンクリート構造部材の柱状サンプル採取方法」<sup>1)</sup>が提案されている。この手法を用いることで床版内部に発生した水平ひび割れが適切に検証される。

そこで, 本実験においてもこの手法を用いて検証する。ここで, 柱状サンプルによる診断手順を図四に示す。図四に示すように, コアドリル装置を用いて, ドリル径  $\phi 12.5\text{mm}$  で深さ 140mm までコアを穿孔する(図四①, ②)。コアが穿孔した後孔内を清掃し(図四③), 蛍光塗料を混合した浸透性接着剤を注入し(図四④), 水平ひび割れに浸透させる。この浸透性接着剤はひび割れ幅 0.05mm まで浸透することが確認されている<sup>3)</sup>。8 時間の養生後, 水平ひび割れを一体化した外周,  $\phi 25\text{mm}$  のコアを採取し(図四⑤), これを柱状サンプル(図四⑥)として, ブラックライトにより水平ひび割れの発生状況を写真撮影する。

#### 5. 輪荷重走行疲労実験および等価走行回数

(1) 実験方法 輪荷重走行疲労実験では, RC 床版の中央から両支点方向に 450mm (走行範囲: 900mm) の範囲に輪荷重 (幅 300mm) を供試体が破壊するまで繰り返し走行させる。走行面に板厚の異なる供試体 RC-30 には 3.2mm, RC-35 には 4.5mm の鋼板を敷いて輪荷重走行疲労実験を行った。輪荷重走行疲労実験におけるたわみの計測は, 輪荷重走行 1,

表-2 実験走行回数および等価走行回数

供試体	走行回数	荷重100kN
RC-30	実験走行回数	98,850
	等価走行回数	6,409,941
RC-35	実験走行回数	190,300
	等価走行回数	12,336,901

10, 100, 1,000, 5,000 回および 5,000 回以降は 5,000 回走行ごとにたわみを計測する。また、輪荷重走行後に最大たわみがそれぞれの計測位置に達した後、実験を中断して、各孔に水を満水し、減水深さを計測する。

(2) 等価走行回数 本実験に用いる供試体は道示に準拠し、3/5 モデルとした供試体を用いて、一定な荷重 100kN で破壊するまで輪荷重走行疲労実験を実施した。よって、基準荷重と実験荷重が異なることから等価走行回数  $N_{eq}$  を算出して耐疲労性を評価する。等価走行回数の算定式は式(1)として与えられる。なお、式(1)における基準荷重  $P$  は設計活荷重の 3/5 に安全率 1.2 を考慮した 72kN として等価走行回数を算出する。S-N 曲線の傾きの逆数  $m$  の絶対値には松井らが提案する 12.7 を適用する<sup>4), 5)</sup>。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_i}{P} \right)^m \cdot n_i \quad (1)$$

ここで、 $N_{eq}$ ：等価走行回数(回)、 $P_i$ ：載荷荷重(kN)、 $P$ ：基準荷重、 $n_i$ ：実験走行回数(回)、 $m$ ：S-N 曲線の傾きの逆数 (= 12.7)

## 6. 実験結果および考察

(1) 等価走行回数 本実験に用いた RC 床版供試体の実験走行回数および等価走行回数を表-2に示す。

RC 床版供試体の破壊時の等価走行回数  $N_{eq}$  は、供試体 RC-30 が  $6.409 \times 10^6$ 、RC-35 は  $12.336 \times 10^6$  回である。圧縮強度  $35N/mm^2$  の供試体は 1.9 倍の等価走行回数となった。よって、圧縮強度を高くすることで等価

走行回数は大幅に向上している。

(2) たわみと等価走行回数 たわみと等価走行回数の関係を図-5に示す。図-5には、疲労損傷による補修・補強の推定して、たわみが床版支間  $L$  の  $1/400^5$ 、すなわち 3.5mm の位置も併記した。

コンクリートの圧縮強度  $29.8N/mm^2$  の供試体 RC-30 の荷重 100kN で 1 走行後の初期たわみは 1.09mm である。たわみが 3.5mm に達した時点の等価走行回数は  $3.566 \times 10^6$  回である。その後の走行を繰り返すことでたわみが増加し、破壊荷重時では 7.39mm である。

次に、コンクリートの圧縮強度  $35.3N/mm^2$  の供試体 RC-35 の初期たわみは 0.94mm であり、圧縮強度が高いことから供試体 RC-30 を下まわっている。たわみが 3.5mm に達した付近の等価走行回数はそれぞれ  $6.484 \times 10^6$  回である。その後、走行を繰り返すことでたわみも徐々に増加している。最大たわみは 9.0mm である。なお、両供試体ともにたわみが床版支間  $L$  の  $1/400$  に達した時点で、打音法による水平ひび割れの発生状況の診断を行った結果、水平ひび割れの発生の確認はできない。

(3) 水平ひび割れの検証 輪荷重走行疲労実験の過程で、水平ひび割れの検証結果を図-6に示す。

供試体 RC-30 は、図-1 に示す計測点①～⑤の、それぞれ  $\phi 12mm$ 、深さ 25mm の孔に、線香を挿入し、水を満水した後の 5 分後に水の減水深さを測定した結果を図-6に示した。

供試体 RC-30 は図-6(1)に示すように、たわみが 2.5mm の時点の減水深さの平均は 1.82mm である。たわみが床版支間  $L$  の  $1/400$ 、すなわち 3.5mm の時点の減水の深さの平均が 3.75mm である。たわみが 3.7mm 付近から減水の深さの平均が 5.06mm であり、やや多くなっている。

たわみが 3.8mm の時点の減水深さの平均は 7.04mm であり、この時点のたわみは床版支間  $L$  の  $1/368$  である。とくに、中央の①の減水深さは 9.3mm であり、水平ひび割れに浸透している。たわみが 4.1mm の時点では計点①、②、③では減水深さが 22mm ~ 24mm

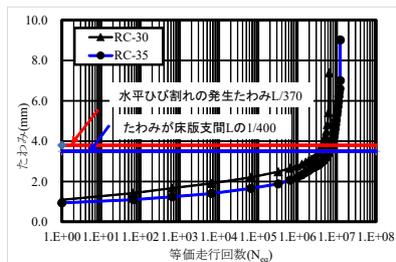
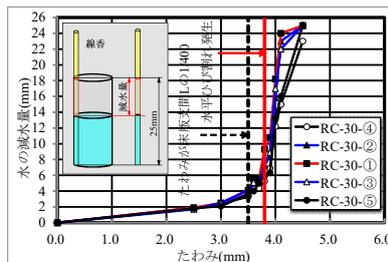
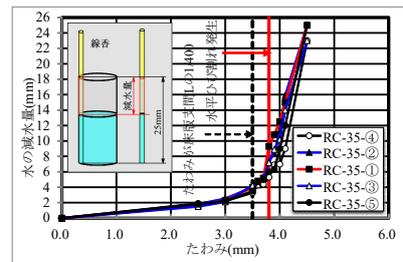


図-5 たわみと等価走行回数

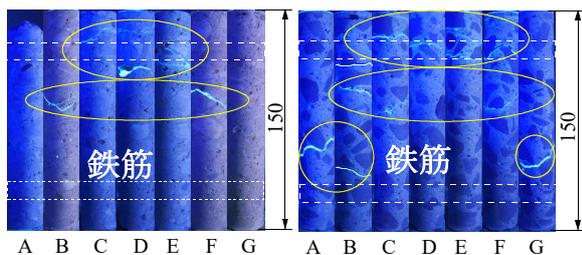


(1) 供試体RC-30



(2) 供試体RC-35

図-6 水の沈下量とたわみの関係



(1) 供試体RC-30

(2) 供試体RC-35

写真-3 柱状サンプルによるひび割れ発生状況

に達し、水平ひび割れに浸透していると考えられる。

次に、供試体 RC-35 は図-6(2)に示すように、たわみが 2.5mm での減水深さの平均が 1.73mm である。たわみが 3.5mm の時点の減水深さの平均が 3.8mm である。たわみが 3.8mm での減水深さの平均は 7.0mm であり、この付近から減水深さも多くなり、水平ひび割れに浸透していると考えられる。この時点のたわみは床版支間 L の 1/368 である。たわみが 4.1mm での計測点①、②、③の減水の平均は 20mm となり、減水深さが多くなっている。たわみが 4.5mm では、各計測点で 23mm 以上となっている。

以上より、本実験の範囲内では、たわみが床版支間 L の 1/370 付近から漏水が発生することから、この付近が水平ひび割れの発生時期と推定できる。

(4) 柱状サンプルによる水平ひび割れ診断 小径コアドリルを用いて、採取した柱状サンプルの結果を写真-3に示す。この柱状サンプルは、ブラックライトを用いての撮影した結果である。

供試体 RC-30 の実験終了後のひび割れ状況は写真-3(1)に示すように、微細な水平ひび割れ発生位置に、浸透性接着剤が浸透している。写真-3(1)、A、G は端部の計測点であり、水平ひび割れの発生は確認されない。写真-3(1)、B、F は端部から 300mm 付近の損傷状況であり、上縁から 65mm 付近に発生している。これはせん断領域付近であり、斜めひび割れ発生位置と同位置である。次に、写真-3(1)、C、D、E は曲げ領域であり、圧縮鉄筋付近に水平ひび割れが発生している。また、水の減水深さから確認しても図-6(1)に示す④、⑤の位置および①、②、③の減水量からも一致する。

次に、供試体 RC-35 のひび割れ状況を写真-3(2)に示す。一部のひび割れに樹脂が浸透されない位置についてはひび割れを加筆した。

写真-3(2)、A、G は、端部から 100mm 付近の計測点であり、床版上面から 95mm 付近にひび割れが発生している。この位置はせん断領域であることから、斜めひび割れとほぼ一致している。写真-3(2)、B

は、端部から 300mm 付近の損傷状況であり、上縁から 55mm 付近に斜めひび割れと上縁から 35mm 付近、圧縮鉄筋の下縁に水平ひび割れが発生している。F の位置も上縁から 65mm 付近に斜めひび割れ、25mm 付近に水平ひび割れが発生している。写真-3(2)、C、D、E は、鉄筋配置付近に水平ひび割れが発生している。曲げ領域の範囲の圧縮鉄筋付近に水平ひび割れが発生している位置とラップしている。また、水の減水深さから確認しても図-6(2)に示す①から⑤の範囲には水平ひび割れが発生していることから減水深さが多くなっているのと一致している。

以上より、破壊後に  $\phi 12.5\text{mm}$  の小径コアに蛍光塗料を混入した浸透性接着剤を注入させ、その後  $\phi 25\text{mm}$  のドリルで採取した柱状サンプルにおいても、接着剤の効果により、水平ひび割れが接着され、柱状サンプルが採取でき、これにブラックライトを用いることで、ひび割れ発生位置が確認された。

## 7. まとめ

- (1) 輪荷重走行面端部に  $\phi 12\text{mm}$ 、深さ 25mm のコアを穿孔し、輪荷重走行疲労実験の過程で、所定のたわみに達した時点で、コアに水を満水し、ひび割れの発生位置に浸透することで減水深さから、ひび割れ発生状況を検証した。その結果、供試体 RC-30 および RC-35 とともに、たわみが 3.8mm、すなわちたわみが床版支間 L の 1/370 に達した付近から減水量が多くなり、この時点から水平ひび割れが発生したものと考えられる。
- (2) 破壊後に樹脂注入し、小径コアドリルを用いて柱状サンプルを採取し、水平ひび割れ発生位置を検証した結果、輪荷重走行により、せん断領域には斜めひび割れ、曲げ領域には圧縮鉄筋付近に水平ひび割れが発生していることが確認された。

## 参考文献：

- 1) 阿部忠、大窪克己、高野真希子：コンクリート構造部材の柱状サンプル採取方法、特願 2017-130224
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I、II、2002
- 3) 大野晃、伊藤清志、山下雄史、阿部忠：超速硬繊維補強セメントモルタルを用いた道路橋 RC 床版の部分補修技術に関する研究、コンクリート構造物の補修・補強アップグレード論文・報告集、第 13 巻、pp.357-264、2013.11
- 4) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理、森北出版、2007.10
- 5) 阿部忠、木田哲量、高野真希子、川井 豊：道路橋 RC 床版の押抜きせん断耐荷力および耐疲労性の評価、土木学会論文集 A1、pp.39-54、2011.1