

装を用いる鉄筋コンクリートの設計指針(土木学会)の付着試験方法(JSCE-E516-2003)に準拠して行った。

5) 付着強度

引き抜き試験より得られた結果を表-3に示す。一般鋼板を用いた格子鋼板筋の付着強度は 3.19N/mm^2 、亜鉛メッキ塗装した鋼板の付着強度は 3.11N/mm^2 である。また、縞鋼板を用いた格子鋼板筋の付着強度は 4.53N/mm^2 、エポキシ系樹脂塗装した鋼板の付着強度は 2.65N/mm^2 である。いずれの鋼種も防錆材を塗布することで付着強度は低下しているが、異形鉄筋 SD295A D13 の付着強度 2.99N/mm^2 と比較すると、同程度の付着強度を有する結果が得られている。

2.2 供試体概要

(1) RC 床版供試体

本実験に用いた供試体の寸法は、道示の規定に基づいて設計し、その 1/2 モデルとした。ここで、RC 床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-2(1)に示す。

供試体寸法は、全長 1,470mm、支間 1,200mm、床版厚 130mm とした。鉄筋は複鉄筋配置とし、主鉄筋に D10 を 100mm 間隔で配置し、主筋の有効高を 105mm、配力筋の有効高を 95mm とした。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置し、有効高は軸直角方向は 25mm、軸方向は 35mm である。

(2) MGC 床版供試体

MGC 床版供試体の寸法は、全長、支間、厚さは RC 床版と同様である。格子鋼板筋の形状および格子間寸法は図-2(2)、(3)に示すように、RC 床版と同様に引張側の主筋および配力筋の格子間寸法は $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ (図-1(1))とし、有効高は 105.5mm とした。また、圧縮側には引張鋼材量の 1/2、すなわち格子間寸法は $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ とした(図-1(2))。断面寸法は、RC 床版供試体と同程度の鋼材量となるよう厚さ 9.0mm、幅 8.0mm、断面積は 72mm^2 とし、付着力を高めるために 9mm 間隔ごとに 2mm の突起を設けた。ここで、A タイプの供試体(図-2(2))は、圧縮側の格子鋼板筋の配置を軸直角方向の床版中央を挟んで 200mm 間隔で配置($A'_s=28.8\text{mm}^2$)し、防錆材にエポキシ樹脂を塗布した。また、B タイプの供試体(図

表-3 格子鋼板筋および鉄筋の付着強度

鋼材	鋼種	付着面の状態	表面積 (mm^2)	変位 0.04mm 時の平均荷重 (kN)	付着強度 (N/mm^2)
鋼板 格子筋	一般鋼板 (9×15mm)	—	3,600	11.47	3.19
		亜鉛 メッキ	3,600	11.60	3.11
	縞鋼板 (9×15mm)	—	3,600	16.30	4.53
		エポキシ 樹脂塗装	3,600	9.53	2.65
異形鉄筋	SD295A D13	—	3,000	8.97	2.99

-2(3))は床版中央から 200mm 間隔で配置($A'_s=36\text{mm}^2$)し、防錆材には亜鉛メッキを塗布した。

2.3 輪荷重走行疲労実験および等価走行回数の算定

(1) 輪荷重走行疲労実験

輪荷重走行疲労実験は、床版中央から $\pm 450\text{mm}$ の範囲 (900mm) に輪荷重を連続走行させる実験である。荷重載荷方法は、RC 床版および MGC 床版供試体ともに初期走行荷重を 80kN とし、供試体が破壊するまで 20,000 回走行ごとに 20kN ずつ増加させる階段状荷重漸増載荷とした。また、ひずみおよびたわみの計測は 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回および 5,000 回以降は 5,000 回走行ごとに行い、計測点は床版中央部とした。

(2) 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験では、20,000 回走行ごとに荷重を増加させることから、基準荷重と載荷荷重および実験走行回数の関係から等価走行回数 N_{eq} を算出して耐疲労性を評価する。輪荷重走行疲労実験による等価走行回数 N_{eq} は、マイナー則に従うと仮定すると、式(1)として与えられる。なお、式(1)に適用する S-N 曲線の傾きの逆数 m は、松井らが提案する S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値 $m=12.7$ を適用する³⁾。また、本供試体の基準荷重は、道示 I に規定する床版の 1/2 モデルであることから活荷重 100kN の 1/2 に安全率 1.2 を考慮して 60kN とし式(1)に適用する。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^m \times N_i \quad (1)$$

ここで、 N_{eq} : 等価走行回数(回)、 P_i : 載荷荷重(kN)、

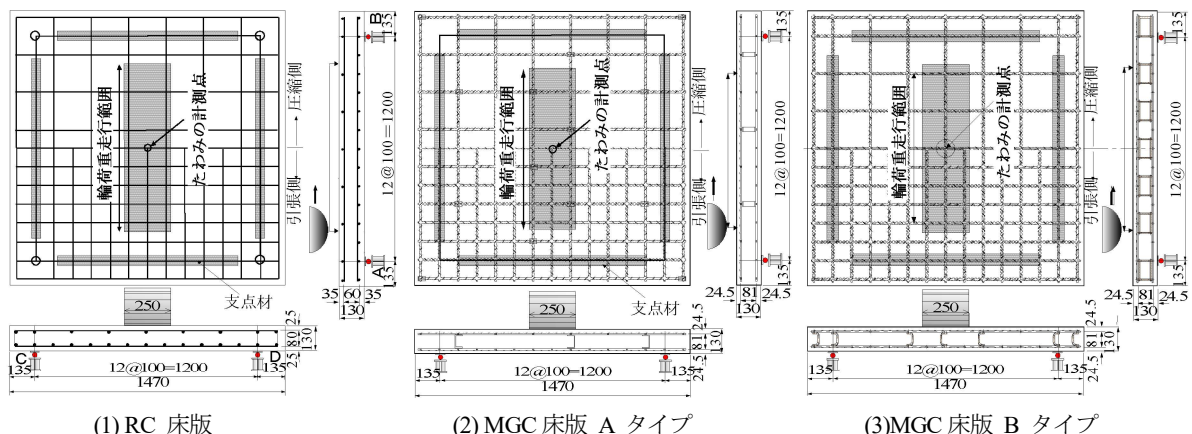


図-2 供試体寸法および鉄筋配置

P : 基準荷重 60kN, N_i : 実験走行回数 (回), m : S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 (=12.7)

3. 結果および考察

3.1 等価走行回数

本実験における RC 床版および MGC 床版供試体の等価走行回数および走行回数比を表-4 に示す。

(1) RC 床版

RC 床版供試体 RC-1 の等価走行回数は 6.289×10^6 回で、破壊は輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊した。この RC 床版供試体の等価走行回数を基準に、MGC 床版の耐疲労性を評価する。

(2) MGC 床版

エポキシ樹脂で塗装した供試体 MGC-A1, A2 の等価走行回数は、それぞれ 6.027×10^6 回, 6.684×10^6 回で、破壊は供試体 RC-1 と同様に、輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊であった。供試体 RC-1 の等価走行回数と比較すると、それぞれ 0.96, 1.06 となり、ほぼ同等の等価走行回数となった。したがって、格子鋼板筋を配置した MGC 床版は、RC 床版と同等な耐疲労性を有する結果となった。

次に、亜鉛メッキを塗布し、圧縮側のメタルグリッドを床版中央から配置した供試体 MGC-B1, B2 の等価走行回数は、それぞれ 6.310×10^6 回, 6.618×10^6 回で、破壊は供試体 MGC-A 同様に、輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊であった。供試体 RC-1 の等価走行回数と比較すると、それぞれ 1.00, 1.05 となり、若干上回っているがほぼ同等な等価走行回数が得られている。エポキシ樹脂で塗装した供試体 MGC-A と比較すると、亜鉛メッキを塗布した供試体 MGC-B の方が等価走行回数が若干上回る結果となっているが、これは防錆材の違いによる付着強度の差異、格子鋼板筋の配置法の違い、およびコンクリートの圧縮強度の違いなどの影響が考えられる。

以上の結果から、RC 床版に鉄筋に替わる格子鋼板筋を配置した供試体は、鉄筋を配置した供試体とほぼ同等の等価走行回数が得られたことから、格子鋼板筋は RC 床版の鉄筋に替わる引張材として十分に実用性があるものと判断できる。

3.2 ひずみと等価走行回数の関係

鉄筋および格子鋼板筋の床版中央の引張側のひずみと等価走行回数の関係を図-3 に示す。なお、鉄筋および格子鋼板筋の降伏ひずみは、材料特性値(表-2)より簡易的に計算すると、鉄筋が $1,920 \times 10^{-6}$ 、格子鋼板筋が $1,685 \times 10^{-6}$ である。

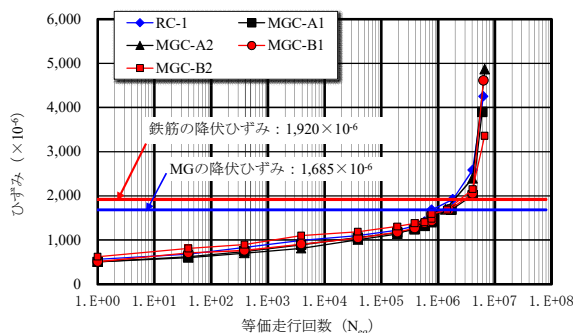
(1) RC 床版

RC 床版の主筋の荷重とひずみの関係は、荷重 80kN で 1 走行後の主筋のひずみは 560×10^{-6} であり、降伏ひずみに達した際の等価走行回数は、 1.820×10^6 回である。降伏後はひずみの増加が著しく、破壊時のひずみは $4,250 \times 10^{-6}$ である。

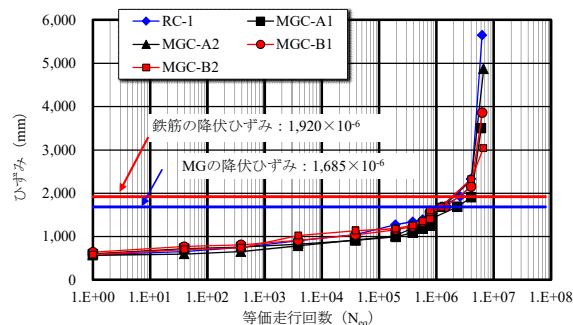
次に、配力筋の荷重とひずみの関係は、荷重 80kN

表-4 実験走行回数および等価走行回数

供試体		荷 重		等価走行回数 合計	走行 回数比
		80 kN	100 kN		
RC-1	実験走行回数	20,000	8,400	6,289,944	—
	等価走行回数	772,240	5,517,704		
MGC-A1	実験走行回数	20,000	8,000	6,027,197	0.96
	等価走行回数	772,240	5,254,956		
MGC-A2	実験走行回数	20,000	9,000	6,684,066	1.06
	等価走行回数	772,240	5,911,826		
MGC-B1	実験走行回数	20,000	8,430	6,310,306	1.00
	等価走行回数	772,896	5,537,410		
MGC-B2	実験走行回数	20,000	8,900	6,618,378	1.05
	等価走行回数	772,239	5,846,139		



(1) 主筋ひずみと等価走行回数



(2) 配力筋のひずみと等価走行回数

図-3 ひずみと等価走行回数の関係

で 1 走行後の初期ひずみは 580×10^{-6} であり、降伏ひずみに達した際の等価走行回数は 2.620×10^6 回である。破壊時のひずみは $5,690 \times 10^{-6}$ である。

(2) MGC 床版

供試体 MGC-A1, A2 の主筋のひずみと等価走行回数の関係は、荷重 80kN で 1 走行後の初期ひずみは、それぞれ 505×10^{-6} , 508×10^{-6} である。格子鋼板筋の降伏ひずみに達した際の等価走行回数は、それぞれ 1.724×10^6 回, 1.336×10^6 回である。破壊時のひずみは $3,900 \times 10^{-6}$, $4,865 \times 10^{-6}$ である。

次に、配力筋の荷重とひずみの関係は、初期ひずみはそれぞれ 598×10^{-6} , 570×10^{-6} であり、降伏ひずみに達した際の等価走行回数は、 2.324×10^6 回, 1.286×10^6 回である。破壊時のひずみは $4,870 \times 10^{-6}$, $3,860 \times 10^{-6}$ である。

供試体 MGC-B1, B2 の主筋のひずみと等価走行回数の関係は、1 走行後の初期ひずみは、それぞれ 511×10^{-6} , 622×10^{-6} である。格子鋼板筋の降伏ひずみに達した際の等価走行回数は、 1.580×10^6 回, 1.438×10^6 回である。破壊時のひずみは $4,610 \times 10^{-6}$, $3,360 \times 10^{-6}$

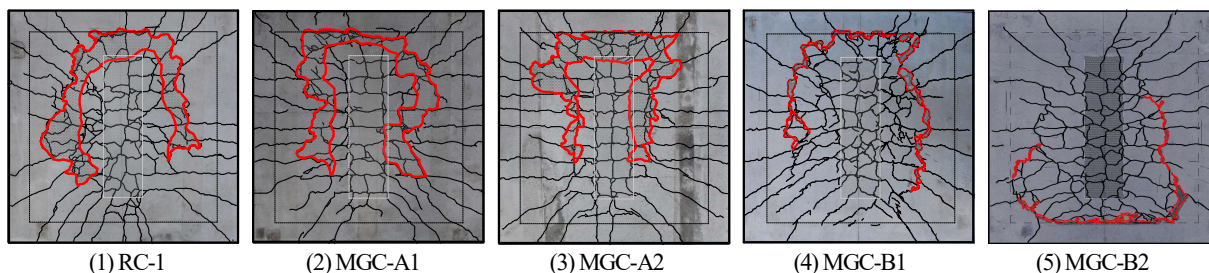


図-4 破壊状況

である。

次に、配力筋の荷重とひずみの関係は、初期ひずみはそれぞれ 640×10^{-6} 、 580×10^{-6} であり、降伏ひずみに達した走行回数は 1.456×10^6 回、 1.206×10^6 回である。破壊時のひずみ 3860×10^{-6} 、 3040×10^{-6} である。

以上より、鉄筋および格子鋼板筋のひずみと等価走行回数において、格子鋼板筋のひずみ挙動は鉄筋と同様の傾向を示しており、主筋および配力筋ともに応力の分担が見られる。よって、鉄筋に替わる引張材として床版にも適用が可能であると考えられる。

3.3 破壊状況

輪荷重走行疲労実験における RC 床版および MGC 床版の損傷状況を図-4 に示す。

(1) RC 床版

RC 床版のひび割れ状況は図-4(1)に示すように、輪荷重の走行面直下に主鉄筋方向および配力筋方向の2方向のひび割れが発生している。主鉄筋方向のひび割れは配置した鉄筋間隔の位置である。また、輪荷重走行位置から45度下面にはダウエルの影響が及ぼす範囲ではなく離れている。最終的には輪荷重走行中に押抜きせん断破壊した。

(2) MGC 床版

供試体 MGC-A1 のひび割れ状況は図-4(2)に示すように、主筋方向は格子鋼板筋の配置下面に発生している。また、配力筋方向は輪荷重の走行面直下に多く発生し、主筋同様に格子鋼板筋の配置位置に発生し、格子状を形成している。また、輪荷重走行面から45度のダウエルの影響が及ぼす範囲ではなく離れている。供試体 MGC-A2 のひび割れ状況(図-4(3))も同様に、格子鋼板筋配置位置でひび割れが発生し、ほぼ正方形の格子状を形成している。なお、両供試体ともに輪荷重走行中に押抜きせん断破壊した。

次に、供試体 MGC-B1 のひび割れ状況は図-4(4)に示すように、ひび割れ間隔は配置した格子鋼板筋の間隔と同様な位置に発生している。また、輪荷重走行面から45度下面のダウエルの影響を及ぼす範囲ではなく離れが認められるが、RC 床版および MGC-A 床版供試体と比較すると離れの範囲が狭い。供試体 MGC-B2 のひび割れ状況(図-4(5))は、供試体 MGC-B1 と同様な形状を示している。圧縮側の格子筋を床版支間中央を挟んで配置した MGC-A 供試体に比べてひび割れはやや不規則に発生し、亀甲状の

ひび割れも認められる。また、輪荷重走行面から45度下面にダウエルの影響による離れが見られる。破壊は両供試体ともに押抜きせん断破壊となった。

以上より、MGC 床版のひび割れ状況は、RC 床版のひび割れ状況と比較的類似した形状となっているが、格子鋼板筋を使用した場合、一面加工されていることから比較的規則性のあるひび割れ状況を呈している。

4. まとめ

本研究は、新たに開発された格子鋼板筋を鉄筋に替えて道路橋床版に適用した場合の実用性を評価するために輪荷重走行疲労実験を行い、耐疲労性について検証した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 供試体の製作時において、RC 床版供試体製作時の鉄筋組立てに要する時間に比して MGC 床版の格子鋼板筋の組立てに要する時間は短縮できることが確認されたことから、省人化、工期の短縮が可能であると思われる。また、床版部材やはり部材あるいはボックスカルバート等への適用においてはプレキャスト化も可能である。
- (2) 等価走行回数より、RC 床版の等価走行回数に対し2タイプの MGC 床版の等価走行回数は、ほぼ同等の結果となった。よって、鉄筋に替わり格子鋼板筋を配置した MGC 床版は十分に実用性があるものと判断できる。また、防錆剤の違いおよび鋼材配置の違いによる顕著な差異は認められない。
- (3) ひずみと等価走行回数の関係より、MGC 床版の格子鋼板筋のひずみは鉄筋ひずみと同様の挙動を示しており、配力筋方向への応力分担が確認された。
- (4) 破壊状況より、全ての供試体で輪荷重走行中に押抜きせん断破壊となった。また、MGC 床版のひび割れ状況は、RC 床版に比して比較的規則的なひび割れ形状を呈しているが、これは格子鋼板筋が一面加工されたものであるためと考えられる。

参考文献：

- 1) 国土交通省：i-Construction～建設現場の生産性革命～参考資料，2016
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，III，2012
- 3) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理，森北出版，2007.10