

## 論文内容の要旨

氏名：新 田 裕 之

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：鋼板格子筋を用いたボックスカルバートの補強技術およびひび割れ抑制対策に関する実験研究

我が国において、高度経済成長期に多く建設された道路施設は国民の生活環境を快適にし、経済活動を効率的なものにすることに大きく貢献してきた。しかし、高度経済成長期に建設された道路施設は、建設後 50 年が経過し、老朽化が進み、補修・補強対策が必要となっている。とくに、道路施設の中で最も老朽化が進行しているのが橋梁である。道路橋では支間 2m 以上の橋梁および外寸 2m 以上かつ土被り 1.0m 未満の溝橋すなわちボックスカルバート（以下、カルバートとする）も橋梁施設として取り扱われており、これらの橋梁に対しては橋梁点検要領に基づいて 5 年ごとに点検し、健全度の判定が行われ、低コストで計画的に維持管理する「道路橋長寿命化修繕計画」に基づいて維持管理が進められている。しかし、カルバートの維持管理における補修・補強対策についての研究・開発はあまり進められていないのが現状である。

本研究では、カルバートの補修・補強技術において最も懸念されるカルバートの内空断面である建築限界を確保するために新たな補強技術の開発を目的とし、鉄筋に替わる引張補強材料として新たに開発された鋼板や縞鋼板にレーザでスリットを挿入し、一面加工した鋼板格子筋を用い、補強法においては増厚界面の界面はく離を抑制させ一体性の向上を図る目的としてエポキシ系樹脂を界面に塗布した接着剤塗布型のポリマーセメントモルタル（PCM）増厚補強法を提案する。一方、カルバート構造物における耐疲労性の照査に関する検討項目の一つであるひび割れ幅の照査では、許容ひび割れ幅の限界値を満足するよう規定されている。従来は、このひび割れ幅の限界値を満足させるために主鉄筋量を増大させる方法しか採られていなかった。そこで、本研究ではひび割れ幅の限界値を満足するために部分的に鋼板格子筋を配置した新構造形式を提案し、実験によりこれらの実用性の検証を行いカルバート構造物の長寿命化施策の一つとして提案を行う。

本論文は 9 章で構成されている。

第 1 章「序論」では、社会インフラの老朽化の現状と建設業界の人手不足問題を述べ、効率的な補修・補強法の必要性を示している。また、橋梁の設計基準の変遷に伴う活荷重の増大に対する補強技術の必要性を述べるとともに、既往の補修・補強対策工法の現状について調査および各種工法をまとめた上で、損傷したボックスカルバートの補修・補強対策において、鋼板格子筋を用いることで耐荷力性能の向上を図れる新技術の提案を行い、また新設カルバートにおいては、ひび割れ幅の照査に関する許容ひび割れ幅の限界値を満足させる対策として、部分的に鋼板格子筋を配置した新構造形式の提案を行い、新設構造物の長寿命化について論じている。

第 2 章「ボックスカルバートを含むインフラの現状」では、具体的にインフラの老朽化の現状を述べ、現在供用されている老朽化したカルバートの損傷事例を紹介するとともに、橋梁点検要領および道路施設の点検における地方自治体での点検手法について述べ、部材の損傷度から健全度の判定を行う判定区分に関して調査している。また、橋梁の設計基準の変遷に伴う活荷重の増大に対する補強技術の必要性を述べるとともに、劣化損傷したカルバートの補修・補強方法について各種工法との適合性をまとめている。さらに、建設業者数の減少、建設業就業者数の減少、高齢化問題を調査し、国土交通省が提唱する、i-Construction（建設現場の生産性革命）の必要性について述べている。

第 3 章「補修・補強材料および鋼板格子筋の材料特性」では、ひびわれ補修材や鋼板格子筋の種類や製作可能な鋼板および縞鋼板の板厚、展張角度など、製作に関わる事項について述べている。また、鋼板格子筋の他に用いるセメント系モルタル補修材、既設カルバートのひび割れ補修および吹き付けモルタル

との付着性を高める材料としての浸透性接着剤や付着用接着剤について述べている。これらの材料の特徴や各種試験による材料特性値についても示した。とくに、鋼板格子筋を用いて接着剤塗布型 PCM 吹き付け補強法における、界面の引張試験やコンクリートとの付着試験について試験結果を考察した上で、本工法への適用性について述べている。

第 4 章「格子鋼板筋を用いたスラブ部材の耐荷力および耐疲労性の検証」では、ボックスカルバートの頂版すなわち RC スラブに縞鋼板で製作した格子鋼板筋を配置した場合の耐荷力および耐疲労性を検証している。供試体は実構造の 1/2 モデルとして製作した。耐荷力性能については走行荷重実験、耐疲労性の評価については輪荷重走行疲労実験を実施している。格子鋼板筋を配置したスラブの最大耐荷力および耐疲労性の実験結果の検証により、鉄筋を用いたスラブと比較した格子鋼板筋を用いたスラブは、最大耐荷力および耐疲労性能で十分に満足できる結果が得られている。したがって、プレキャストカルバートや二次製品の鉄筋に替わる引張補強材として実用性がある材料であることを立証している。

第 5 章「ボックスカルバートに展張格子筋を用いた補強技術」では、1994 年改定の道路橋示方書・同解説に基づいて設計し、その 3/5 モデルとした未補強カルバート供試体および補強カルバート供試体の 2 体により、補強効果について実験を行い検証している。なお、引張補強材にはレーザでスリットを挿入し、配力筋方向に専用の機械で展張した展張格子筋を用いている。補強法は展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 吹き付け補強法により、内空断面を確保するための厚さを 40mm とし増厚補強を行った。この結果、同一寸法を有するカルバートに対して引張補強材に展張格子筋を配置し、補強界面に付着用接着剤を塗布して低弾性 PCM を 40mm 増厚することで 1.66 倍の補強効果を得ている。よって、本補強法は地方自治体や道路施設管理団体が管理するカルバートの補強対策の一助になるものと考えられる。

第 6 章「損傷履歴を受けたボックスカルバートに展張格子筋を用い PCM 増厚補強した耐荷力性能の検証」では、第 5 章で用いた、未補強カルバートに静荷重実験を行い、曲げ破壊したカルバートを 2 年間暴露し、劣化を促進させ、点検によりひび割れ箇所から漏水・遊離石灰の発生しているものに対して補修・補強を実施し、この供試体を用いて静荷重実験を行っている。ひび割れ補修には 0.05mm までのひび割れに浸透する浸透性接着剤を圧入した。ひび割れ発生箇所の補修を行った後、展張格子筋を配置し、接着剤塗布型 PCM 増厚補強法を施し、静荷重実験により最大耐荷力を検証している。実験終了後のカルバートの切断面において接着剤の浸透状況を確認している。静荷重実験の結果は、未補強カルバートの最大耐荷力に対して補強後の耐荷力が 1.21 倍の補強効果が得られた。よって、損傷したカルバートにおいても B 活荷重に対応可能な補強効果が得られている。

第 7 章「展張格子筋を用いた接着剤塗布型 PCM 増厚補強したボックスカルバートの施工技術」では、地震動によるひび割れ損傷および老朽化により、カルバート継ぎ手部からの漏水・遊離石灰の発生など損傷を受けた実構造物のカルバートに「第 5 章および第 6 章」で評価した補強法、すなわち、40mm の増厚補強層内に展張格子筋を配置し、接着剤塗布型の PCM 増厚補強法についての施工技術を述べている。実構造であるカルバートに本提案する展張格子筋を配置する施工法は、工場でカルバート寸法に合わせて展張格子筋を製作するため、現場においては設置のみとなり大幅な時間の短縮が図られること、また増厚層が 40mm であることから内空断面の確保が可能であることを述べている。

第 8 章「鋼板格子筋を用いた RC スラブのひび割れ抑制対策」では、ボックスカルバートの設計基準においては、許容ひび割れ幅がカルバートに配置された鉄筋のかぶり  $c$  に対して  $0.005c$  以下のひび割れ幅を維持するように規定されている。これを満足させるために、これまでは主鉄筋量を増大させる方法しか採られてこなかった。そこで、従来の規定に基づいて設計された鉄筋量を元に、新たにひび割れ抑制のための鋼板格子筋を配置し、許容ひび割れ幅限界値の満足を図るもので、その効果について検証している。その結果、曲げ領域の主鉄筋かぶり内に鋼板格子筋を配置することで、ひび割れ幅の抑制効果が得られている。よって、新設のカルバートのひび割れ抑制においても鋼板格子筋を配置することで、従来の設計法に基づいた鉄筋配置を維持しつつ許容ひび割れ幅を満足することが可能であることを述べている。

第9章「総括」では、「鋼板格子筋を用いたボックスカルバートの補強技術およびひび割れ抑制対策に関する実験研究」で用いた鋼板格子筋は、国土交通省の提唱する i-Construction（建設現場の生産性革命）における、コンクリート工の生産性向上を図るための1つである鉄筋のプレハブ化に対応できる材料であると考えられる。また、老朽化したカルバートの機能回復や、1994年改定の道路橋示方書に規定する活荷重に対応できる補強法である結果が得られた。さらに、カルバート設計における要求基準にひび割れ幅の限界値規定があり、これを満足するために鋼板格子筋を曲げ領域内に部分的に使用することでひび割れ幅を抑制することが可能であるとの結果が得られている。

以上より、本論文で示す溝橋（ボックスカルバート）や土被りが1.0m以上の大型シェッド・カルバートおよびトンネルの増厚補強法への応用、さらには、耐震補強などにも応用可能な補強技術であると考えられる。