

## 論文の内容の要旨

論文題目 膨張材併用軽量コンクリートの道路橋床版への適用に向けた実験的研究

岸田 政彦

土木分野の現場打ちコンクリートとして軽量コンクリートは一般的でないが、道路橋床版に軽量 RC 床版を使用することができれば、上部工の死荷重低減に伴い下部工に対する耐震上の負荷軽減効果が極めて大きく、橋梁全体として大幅なコスト削減が期待できる。しかし、相対的に単位水量が大きくスランプが 20cm 程度のコンクリートを使用する建築分野では軽量コンクリートが一般的に使用され相当数の施工実績があるものの、相対的に単位水量が小さくスランプが 8~12cm 程度のコンクリートを使用している土木分野では、施工時のポンプ圧送の困難さから軽量コンクリートはほとんど使用されていないのが現状である。

旧首都高速道路公団は、上記のような軽量 RC 床版のメリットにいち早く着目し、試行錯誤を繰り返しながら 1964 (昭和 39) 年から 1974 (昭和 49) 年にかけて高速道路の上部工に軽量 RC 床版を積極的に採用した実績を有する。しかし、工事規模の大型化によりポンプ圧送による施工が必要となったものの軽量コンクリートの一般的な配合ではポンプ圧送を行うことができないという施工上の課題に直面した。また、舗装を切削して補修しようとするとき軽量 RC 床版のかぶり部分も合わせて切削してしまうことや伸縮継ぎ手の補修の際に床版端部の軽量コンクリートが必要以上に欠けてしまうという課題から、軽量 RC 床版の使用を取り止めた経験を有している。なお、当時の床版の厚さは 14~16 cm 程度と現在に比べて相当に薄いものであった。

折しも 2008 年 8 月に首都高速道路 5 号池袋線下り車線で走行中のタンクローリーが熊野町ジャンクション内のカーブで横転して炎上するという事故が発生し、床版のコンクリートを打ち替える必要が生じたが、当該箇所の床版は軽量 RC 床版であったことから、下部工の支持力や耐震上の制約から打ち替えるコンクリートに軽量コンクリートを採用せざるを得ない状況であり、耐久性にも配慮して収縮補償目的で膨張材を混和した軽量コンクリートがポンプ圧送で打設された。この際、打ち替えられた軽量 RC 床版と共に、火災による損傷を受けていない近隣の既設軽量 RC 床版の状況を確認した。その結果、30 年以上経過した軽量 RC 床版の健全性が再認識された。一方、岸らは 2006 年当時に、軽量骨材と膨張材を併用して積極的にケミカルプレストレスを導入した部材は温度ひび割れ抑制効果が極めて高いことを明らかにしていた。以上の状況を背景に、軽量コンクリートに膨張材を併用し、再び軽量コンクリートの道路橋床版への有効活用に向けた研究開発の機運が高まり、首都高速道路株式会社 (以下、首都高) において、ケミカルプレストレスを導入した膨張材併用軽量 RC 床版の開発を目指すこととなった。膨張材併用軽量 RC 床版はコンクリート材料として細骨材と粗骨材に人工軽量骨材を用いる軽量コンクリート 2 種を使用するため普通 RC 床版と比較すると約 2 割の軽量化が可能であるが、膨張材併用軽量 RC 床版を採用するためにはいくつかの課題がある。

まず一つ目の課題として、軽量コンクリートは、同じ圧縮強度の普通コンクリートと比較した場合、引張強度とせん断強度が低いいため、軽量 RC 床版は耐疲労性が劣ることが報告されている。そのため、軽量 RC 床版を適用するためには、普通 RC 床版と同等の耐疲労性を付与できる技術の開発が必要となる。一方、コンクリートの初期ひび割れ対策として用いられる膨張材を普通 RC 床版に混和することで耐疲労性が向上することが報告されている。そこで本研究では、軽量コンクリートの耐疲労性の弱点を補う材料として膨張材に着眼し、軽量コンクリートと膨張材を併用することにより

現行の道路橋示方書で設計した普通 RC 床版と同等の耐荷力と耐疲労性を有する軽量 RC 床版の開発を第 1 の目的とした。

二つ目の課題として、軽量コンクリートは、「コンクリートのポンプ施工指針」で圧送に困難が予想されるケースと位置付けられている。更に、本研究で開発する軽量 RC 床版に用いる軽量コンクリート 2 種は土木分野での実績はほとんどない。そのため、普通コンクリートと同等の圧送性を確保するため、圧送が困難となる影響要因と機構について検討を行い、年間を通して安定的に圧送できる施工条件（配合設計、練り混ぜ機構、ポンプ車の選定等）を明確化することを第 2 の目的とした。

更に三つ目の課題として、全国展開を視野に入れた場合には寒冷地への適用が必要となる。軽量骨材は製造過程で飽水処理されるため凍結時に軽量骨材内部の水分が凍結することから普通コンクリートと比較すると耐凍害性が劣ることが知られている。そこで、コンクリート中の空気量と軽量骨材の含水状態に着目し、凍結融解試験を実施することで耐凍害性を確保する方策を見出し、寒冷地にも適用できる軽量 RC 床版の開発を第 3 の目的とした。

以上、本研究では上述した 3 つの目的を達成することで、コスト削減に寄与することができ、全国的に年間を通して建設可能であり、また、普通 RC 床版と同等の耐疲労性を有する膨張材併用軽量 RC 床版の開発を目指した。

以下に、本論文を構成する各章の概要ならびに得られた知見と成果を示す。

第 1 章では、本研究の背景と目的を示し、これまで基礎研究として実施された配合、硬化特性、膨張特性および小型供試体を用いた耐疲労性に関する検討の結果を示した。

第 2 章では膨張材併用軽量 RC 床版を首都高速道路の横浜北線（新設路線）へ採用することを目的として耐疲労性と圧送性の検討を行った。耐疲労性の検討では、現行の道路橋示方書で設計し、水粉体比を 37%、単位水量を  $165\text{kg}/\text{m}^3$ 、20 型膨張材を標準混和量の 1.5 倍である  $30\text{kg}/\text{m}^3$  混和した実床版を模擬した供試体（床版厚さ 25 cm）を作製し、国立研究開発法人土木研究所の載荷方式で輪荷重走行試験を実施した。その結果、破壊回数、床版のたわみおよびひび割れ密度等から総合的に判断すると現行の道路橋示方書で設計した普通 RC 床版と同等の耐疲労性を有することが確認できた。ただし、膨張材併用軽量 RC 床版の小型供試体（床版厚さ 16 cm）では普通 RC 床版の 33 倍の耐疲労性を示していた。これは、供試体寸法の違いによる膨張特性の差に起因していると推察されるため、実床版に 20 型膨張材を標準混和量の 1.5 倍である  $30\text{kg}/\text{m}^3$  混和する場合には、床版厚さ方向の配筋に工夫が必要であることが示唆された。また、圧送性の検討では、水粉体比を 37%、単位水量を  $165\text{kg}/\text{m}^3$ 、20 型膨張材を標準混和量の 1.5 倍である  $30\text{kg}/\text{m}^3$  混和したコンクリートを用いて横浜北線における実施工で最も厳しい条件（水平換算距離 151m）にてポンプ圧送試験を実施した。その結果、連続らせん羽根ミキサで練り混ぜた膨張材併用軽量コンクリートは水平換算距離 151m の条件で圧送できる条件を明らかにできなかった。また、軽量コンクリートの圧送性を低下させる原因はコンクリート中に残存する強固で不飽和な凝集体であることが示唆された。そこで、横浜北線への採用にあたり、耐疲労性への対応として床版の厚さ方向への膨張ひずみを抑制するために床版厚さ方向に鉄筋を追加配置し、圧送性への対応として足場の改造により配管延長を短くすることで適用した。横浜北線に膨張材併用軽量 RC 床版を採用した結果、耐疲労性については 20 型膨張材の最適な混和量の設定が課題として抽出された。また、圧送性については配管を伴ったとしても年間を通して安定的に圧送できる施工条件の明確化が課題として抽出された。

第 3 章では、膨張材併用軽量 RC 床版を首都高速道路の横浜北線へ採用した際に抽出された 20 型膨張材の最適混和量の設定を目的とし、実床版を模擬した供試体を用いた膨張性試験を実施した。膨張性試験では水粉体比を 37%、単位水量を  $170\text{kg}/\text{m}^3$  のコンクリートに 20 型膨張材を  $15\text{kg}/\text{m}^3$ ～ $30\text{kg}/\text{m}^3$  混和し水平 2 方向および鉛直方向の膨張特性を把握した。その結果、同量の膨張材を混和した場合、軽量コンクリートの膨張ひずみは、骨材の剛性と骨材界面の摩擦係数の違いにより普通コンクリートの膨張ひずみより大きくなることを明らかにした。また、軽量骨材の内部養生効果によりその膨張ひずみは持続することを明らかにした。また、膨張材を標準混和量以上混和した場合には、床版の厚さ方向に  $1000\mu$  以上の大きな膨張ひずみが発生することも確認した。よって、次章で

実施する耐疲労性の検討には 20 型膨張材を標準混和量 (20kg/m<sup>3</sup>) 混和した供試体を用いることとした。

第 4 章では、第 3 章の結果を踏まえて標準混和量を混和した膨張材併用軽量 RC 床版の耐疲労性と膨張材併用軽量コンクリートの圧送性の検討を実施した。耐疲労性の検討では、第 2 章と同様に輪荷重走行試験を実施した。なお、使用したコンクリートは、水粉体比を 37%、単位水量を 170kg/m<sup>3</sup>、20 型膨張材を標準混和量である 20kg/m<sup>3</sup> 混和した。その結果、破壊回数、床版のたわみおよびひび割れ密度等から総合的に判断すると現行の道路橋示方書で設計した普通 RC 床版と同等の耐疲労性を有することが確認できた。また、圧送性の検討では、第 2 章と同様にポンプ圧送試験を実施した。使用した膨張材併用軽量コンクリートの配合は単位水量を第 2 章より 5kg/m<sup>3</sup> 増やして 170kg/m<sup>3</sup> とし、20 型膨張材を標準混和量である 20kg/m<sup>3</sup> 混和した。圧送性が低下すると言われている夏季と冬季にポンプ圧送試験を実施した結果、圧送できることを確認した。このことから年間を通して安定的に圧送できる施工条件を明らかにした。また、本研究で数多く実施した軽量コンクリートのポンプ圧送試験結果を整理し、加圧ブリーディング試験結果である脱水率とブリーディング試験結果であるブリーディング率を用いて軽量コンクリートの圧送性を評価できる指標を提案した。

第 5 章では、膨張材併用軽量 RC 床版の寒冷地への適用を目指して空気量や軽量骨材の含水状態を変化させて凍結融解試験を行った。その結果、現場打ちを想定した 37%の水粉体比であっても、細骨材と粗骨材の両方を低含水品とすれば普通 RC 床版と同等の耐凍害性が確保できることを確認した。また、プレキャスト製品を想定した 25.8%の水粉体比であれば、粗骨材のみを低含水品とすれば細骨材は表乾状態の市販品を用いても普通 RC 床版と同等の耐凍害性が確保できることを明らかにした。その機構として、元々飽水状態であった細骨材中の水分が自己乾燥状態となるペースト部に吸い出されて細骨材中が不飽和になるためと推察した。

第 6 章では、今回開発した膨張材併用軽量 RC 床版の耐疲労性について考察した。軽量コンクリート 2 種に 20 型膨張材を標準混和量である 20kg 混和することで鉛直方向の膨張ひずみにより内部が損傷するマイナスの要素が限定的でケミカルプレストレス効果により押し抜きせん断耐力が大きくなるプラスの要素が作用することで、普通 RC 床版と同等の耐疲労性となることを確認した。また、膨張材併用軽量 RC 床版と普通 RC 床版、合成床版、PC 床版および鋼床版の 5 ケースの経済性について検討を行った結果、膨張材併用軽量 RC 床版が最も経済的であり、他の床版と比較して 3~4%程度のコスト削減効果があることを明らかにした。最後に普通 RC 床版と同等の耐疲労性を有し、かつ、全国的に年間を通して建設可能な膨張材併用軽量 RC 床版の諸元について整理し、実用化にあたっての要点をまとめた。

第 7 章では、本研究により得られた知見をまとめている。