

氏 名	西 澤 辰 男
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年3月15日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最 終 学 歴	昭和56年3月 金沢大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了
学 位 論 文 題 目	コンクリート舗装版の荷重伝達機構とその解析法に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 福田 正 東北大学教授 佐武 正雄 東北大学教授 尾坂 芳夫 東北大学教授 須田 熙

論 文 内 容 要 旨

コンクリート舗装は、剛性の高いコンクリート版とこれを支持する路盤か成り立っており、その支持機能は主にコンクリート版の曲げ作用に依存している。またコンクリートの容積変化に伴うひびわれを制御するために、コンクリート版に横目地が設けられていることが、コンクリート舗装の構造的特質である。

コンクリート舗装の主な破壊はコンクリート版のひびわれであり、これは交通荷重によるコンクリートの疲労に起因する場合が多い。したがって、コンクリート舗装の構造設計は、設計寿命内に発生する交通荷重による曲げ応力によって、コンクリート版がその疲労限界を超えないように版厚を決定することであり、この作業の中心はコンクリート版の応力解析が基本となる。

従来このような解析は、Westergaardの理論式を用いて行われてきた。しかし、最近の交通事情、舗装構造の変化に伴う多様な要因を考慮することができず、特に横目地の破損に起因すると考えられるコンクリート舗装の破壊が増加しつつある。また一方で、このような破損の対策として過剰な補強を行い、コンクリート舗装の建設コストを上昇させている場合がある。そこで、より適切なコンクリート舗装の構造モデルを確立し、構造設計を合理的なものにすることが望まれている。

このようなことから本論文においては、コンクリート舗装の構造的物質を踏まえ、その荷重伝達機構を十分に表現した構造解析手法を提案した。さらにこの解析法を中心とした構造評価システムを構築し、構造設計をより合理的、効率的なものにする手段を提供した。本論文の各章で得られた成果をまとめると以下のようなになる。

第1章 序 論

本章では、コンクリート舗装の設計における構造解析法の意義とその問題点について述べ、本論文の目的を明らかにしその構成を概述した。

第2章 コンクリート舗装の構造特質

本章では、コンクリート舗装の構造的、材料的条件とその問題点、さらに本研究におけるこれらの諸条件の取り扱いについて言及した。そして従来のコンクリート舗装における構造解析の問題点を指摘した。

コンクリート舗装において特徴的な横目地は、一方で構造的な弱点となり、これからのひびわれが舗装の破壊につながっている。このようなことから、横目地の挙動に着目した設計が必要である。しかし現状では、横目地の荷重伝達のメカニズムが明らかでなく、合理的な設計がなされていない。また近年、路盤の支持力を増加させるために、高品質な材料が用いられるようになってきている。従来の路盤K値では、この種の路盤の力学的構造特性を正確に表現することができず、その利点が生かされていない。さらに交通条件、とくに車輪走行位置はコンクリート舗装の破壊形態に大きく影響するが、その測定が困難であることから車輪走行位置の分布特性が明らかでなく、コンクリート舗装の構造解析を行う際の外的条件が明確になっていない。

第3章 車輪走行位置の分布特性

荷重載荷位置の把握は、舗装の疲労解析における基本的前提である。しかしながら、車輪走行位置の測定が困難であるため、これらのデータはきわめて少ない。そこで本研究では新たに開発した測定装置を用いて車輪走行位置を実測し、その結果よりその特性を明らかにした。

北陸地方および東北地方の11箇所の道路において、車輪の走行位置分布を測定した結果、車輪走行位置分布は正規分布曲線で表示できることが判った。また平均車輪走行位置は車線幅と相関があるが、その分散は車線幅と相関はほとんどない。これらのデータの単回帰式から、車線幅から車輪走行位置分布の推定を可能にした。さらに、横目地からの縦ひびわれの発生位置を観測し、それらと大型車の車輪走行位置の関連性を指摘した。

第4章 コンクリート版－路盤系の力学挙動

コンクリート舗装の構造解析には、一般に Westergaard による Winkler 路盤上の弾性平板モデルに基づいた構造モデルが用いられている。しかし、これらの応力式ではコンクリート版の構造特質、あるいは交通荷重の載荷位置分布などを考慮した厳密な解析ができない。一方、これらの条件を考慮することができる構造解析手法として有限要素法があり、本研究では、平板有限要素法をコンクリート舗装の構造解析に適用した構造モデルを採用した。コンクリート舗装の構造モデルに必要な機能は、路盤の性状や横目地の荷重伝達機構を考慮して、コンクリート版の挙動を解析することである。以下において、これらに対する適切なモデルを有限要素法に定式化し、構造モデルに組み入れることを検討した。

コンクリート舗装構造を次のようにモデル化する。すなわち、コンクリート版を平板理論に基づく平板要素に分割し、路盤はこれに作用する反力として取扱う。またコンクリート版の目地は、その荷重伝達機能をモデル化した目地要素を平板要素に結合させて表現する。この場合のコンクリート舗装の剛性方程式は、微小変形を仮定した場合、次式のような重ね合わせで表現できる。

$$\{f\} = [[K] + [J] + [H]] \cdot \{d\}$$

ここに、 $\{f\}$: 交通荷重による外力ベクトル、 $[K]$: コンクリート版の剛性マトリックス、 $[J]$: 目地の剛性マトリックス、 $[H]$: 路盤の剛性マトリックス、 $\{d\}$: コンクリート版の変位ベクトルである。マトリックス $[J]$ については第5章において論じている。本章ではマトリックス $[H]$ の内容、すなわち路盤のモデル化について述べている。

路盤モデルとしては実用的な Winkler 路盤を基本的に用いた。しかし、Winkler 路盤においては、路盤の弾性係数が高い場合の路盤面におけるせん断抵抗による応力減少効果を考慮することができない欠点がある。そこで粗面効果による修正路盤 K 値の考え方を導入し、弾性係数の大きい安定処理系の路盤に対応できるようにした。数値計算から粗面効果と路盤の弾性係数、厚さとの関係を求めた。

このモデルによる計算値と従来の Westergaard や Hogg の理論値を比較し、解析精度が十分であることを確認した。また実際のコンクリート舗装上での載荷試験における実測値と構造モデルの計算値を比較し、モデルの妥当性を検証した。

第5章 横目地における荷重伝達機構

本章においては、コンクリート舗装の横目地構造のモデル化について述べた。第2章で述べたように、横目地における荷重伝達機能を正確に評価することが重要であり、そのモデルはできるだけ厳密でなければならない。

横目地の荷重伝達機能を、コンクリート版側面の骨材のかみ合わせによる機能と荷重伝達装置であるスリップバーの曲げ機能に分けた。前者に対してはせん断ばねモデルに基づくかみ合わせ要素を定式化した。後者に対してはコンクリートとスリップバーの相互作用を考慮に入れるために、局部変形要素と棒要素を組み合わせたスリップバー要素を定式化した修正棒モデルを提案した。かみ合わせ要素において、かみ合わせ機能を表すパラメーターとしてかみ合わせ係数 κ を導入し、このかみ合わせ係数と路盤 K 値の比 κ/K と目地幅の関係を明らかにした。またスリップバー要素において、スリップバーとコンクリートの相互作用を示すパラメーターとして支圧係数を導入し、その算定式を提案した。

本研究で提案したモデルを、実験結果との比較により検証した。まず室内模型実験を解析した結果、修正棒モデルは、スリップバーの直径による荷重伝達機能の相違を表現できることが判った。次に岩間による載荷実験の事例について解析した。その結果、目地幅が狭い場合には修正棒モデルと従来のばねモデルは同じ結果となり、広くなると目地部分のスリップバーの影響が現れ、修正モデルの場合が伝達率が低くなる。このため、荷重直下において計算値は実測値を若干上回るが、全体としては良く一致していることが判った。さらに剛性の高い路盤を持つコンクリート舗装上にお

いて載荷実験を行い、その結果を解析した。その結果、路盤の剛性が高い場合には、修正路盤K値を用いた計算値は実測値とほぼ一致し、スリップバーのひずみ分布においても計算値と実測値は良く一致した。

第6章 コンクリート舗装の構造解析システム

実際の設計作業において構造モデルを用いる場合、そのデータ作成、整理にかなりの労力を要する。このような作業を自動化して設計作業の効率化を測るために、パーソナル・コンピュータを組み合わせた構造評価システム（E S C O P : Evaluation System of Concrete Pavement）を構築した。本章においてこのE S C O Pについて述べた。E S C O Pの特徴は以下のとおりである。

- (1) データ入力において有限要素法の知識は必要とせず、すべて自動的にF E Mデータが作成される。基本データの入力は対話形式とし、入力ミスの訂正も容易とした。
- (2) コンクリート版、スリップバーの力学挙動を、図形情報として表示する。
- (3) コンクリート版の疲労解析を行い、横目地からの縦ひびわれ発生の可能性を検討できる。

さらに、E S C O Pを既存のコンクリート舗装の解析に適用した事例を挙げ、その有用性を示している。

第7章 本研究の結論

本章では本研究で得られた結果を総括し要約している。

審 査 結 果 の 要 旨

近年の交通条件の変化などに伴ない、コンクリート舗装版のひびわれ破損は、その横目地縁部周辺で多く発生する傾向が見られる。このような問題に対して、著者はまずコンクリート舗装の構造解析の際の外的条件である車輪走行位置の測定装置を開発し、これを用いて道路車線と車輪走行位置との関係を明らかにしている。また著者は、コンクリート舗装の載荷実験を行ない、その横目地縁部における荷重伝達機構を表現した有限要素モデルに基づく解析法を構築し、さらにその応用に関する研究を行なっている。本論文はこれらの成果をまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、本研究で対象としているコンクリート舗装の一般的な構造特性を説明し、さらに現状のコンクリート舗装構造の問題点を指摘している。

第3章では、構造解析に必要な交通条件について、著者が開発した車輪走行位置の測定装置を用いて実際の道路で測定を行ない、車輪走行位置と道路車線との統計的関係を得ている。これらは有用な知見である。

第4章では、コンクリート舗装版と路盤構造による荷重分散機構に関して、特に剛性の高いセメント安定処理系路盤を使用した場合の荷重分散効果を考慮にいたし、平板有限要素法による実用的解析法を提示し、さらにこれを実験値と比較してその妥当性を検証している。

第5章では、コンクリート舗装版の横目地における荷重伝達機構と、そのモデル化について論じている。著者は横目地における荷重伝達機構を目地側面の骨材かみ合せ機構と荷重伝達装置であるスリップバーの曲げ機構とで構成させ、さらにスリップバーの局部変形を考慮にいたした構造モデルを提案し、これを有限要素法の目地要素として定式化している。実験結果との比較では、この解析法は極めて精度が高く、貴重な成果である。

第6章では、本解析法を応用した、コンクリート舗装の構造評価システムを示している。このシステムは、道路における車輪走行位置を考慮にいたし、本解析法を実用設計に適用する際の解析作業の自動化を図ったもので、これを実際の道路舗装の事例に適用して、本システムが有用であることを示している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、コンクリート舗装版の荷重伝達機構の解明と、この解析法の開発を行なったもので、土木工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。