

平成 30 年 4 月 30 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14292

研究課題名(和文) 不同沈下を考慮したコンクリート舗装版の応力解析法と長寿命設計法の提案

研究課題名(英文) Methods for Stress Analysis and Slab Thickness Design of Long-Life Concrete Pavement in consideration of Differential Settlement

研究代表者

佐藤 良一 (Sato, Ryoichi)

広島大学・工学研究科・名誉教授

研究者番号：20016702

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：版下面に不同沈下による空隙を有する連続鉄筋コンクリート舗装版の長寿命版厚設計法の確立に資するため、版とアスファルト中間層との接地・剥離の判定方法と空隙モデル、版と路盤との接地の有無を考慮した自重応力に及ぼすクリープの影響、横ひび割れ部の骨材のかみ合わせに基づくせん断伝達モデルについて検討した。

その結果は、版と中間層との接地・剥離の判定と空隙モデルは妥当である、自重応力に及ぼすクリープの影響は接地時の版応力に認められる、骨材のかみ合わせ開始時の段差/ひび割れ幅で定義されるせん断ひずみとかみ合い後のせん断剛性からなるせん断伝達モデルは載荷・非載荷側の応力評価に有効である、ことなどを示した。

研究成果の概要(英文)： In order to help establish design method of slab thickness of long-life continuously reinforced concrete (CRC) pavement with a gap under the slab due to differential settlement, judging method for contact of CRC slab with asphalt intermediate layer (layer) and that for the segregation between both as well as the gap model, creep effect on self-weight induced stress of the CRC slab, shear transfer model of the transverse crack based on aggregate interlock are investigated.

Results show that judging method of the contact of the slab with the layer and the gap model are appropriate, the creep effect on the self-weight induced stress is clearly observed at the beginning of the contact, and the shear transfer model consisting of shear strain defined as faulting/crack width at the beginning of the aggregate interlock as well as shear stiffness after that is effective in evaluate stresses on loading and non-loading sides adjacent to the transverse crack.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：不同沈下 連続鉄筋コンクリート舗装 クリープ 変位適合条件 せん断伝達

1. 研究開始当初の背景

不同沈下を起こす盛土などの地盤上へのコンクリート(Co)舗装の適用は変形追従性が低いために適当でないと言われる一方、盛土等を除く通常の場合には、不同沈下すなわちコンクリート(Co)版下面と路盤上面との空隙(隙間)の影響が考慮されることはほとんどない。土木学会舗装標準示方書においても「設計時の弾性たわみが設計限界値を満たせば設計耐用期間中の荷重支持性能が得られるとしてよい」とし、路盤支持力の経年変化は考慮されていない。

一方、大きな不同沈下が予測された空港では「空隙」の影響は考慮されたがその解析モデルは明示されていない。また自重応力に及ぼすクリープの影響は、有効ヤング係数法と弾性応力を低減する方法が比較検討され、安全側であるとの理由で後者が取り入れられた。しかし、これらの問題は不明な点があり、今後の課題として残された[1]。

2. 研究の目的

版下面に空隙を有する連続鉄筋コンクリート舗装(CRCP)版と路盤との接地・剥離の判定方法と接地前後の空隙要素の剛性モデル、版と路盤との接地の有無を考慮した自重応力に及ぼすクリープの影響、骨材のかみ合わせに基づく横ひび割れ部のせん断伝達を主として検討し、これらを通じて長寿命版厚設計法の確立に資することを目的とする。

3. 研究の方法

解析手法は3D-FEMを適用し版下面とアスファルト中間層(中間層)の間に空隙要素を設置した。版と中間層の接地・剥離の判定は、図-1に示すように、空隙要素の鉛直ひずみ L/L' で行い、1以上で接地、以下で剥離とした。接地・剥離をより正確に判定するために、荷重は増分法で与えている。ここで L' は「空隙」の変位、 L は荷重作用前の空隙深さである。

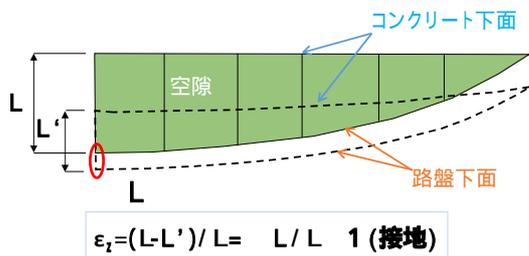


図 - 1 空隙モデルと接地条件

る。空隙の剛性は、接地後は中間層の剛性、接地前と剥離後は0とする。空隙深さはCRCPの幅員方向に放物線分布するとし、空隙深さは図3に示す実測値を参考に定めた。

クリープの影響は有効ヤング係数で考慮し、接地時およびクリープ終了時の版応力を評価している。

図-2に横ひび割れ部を連続体で理想化したせん断伝達モデルの概念図を示す。せん断伝達は骨材のかみ合わせで行われ、かみ合いは所定のせん断ひずみで開始するとした。かみ合い後のせん断剛性は一定とし、載荷側、非載荷側の横方向の下縁応力を比較してせん断伝達効果を評価した。なお、ひび割れ幅は断面で一様としている。

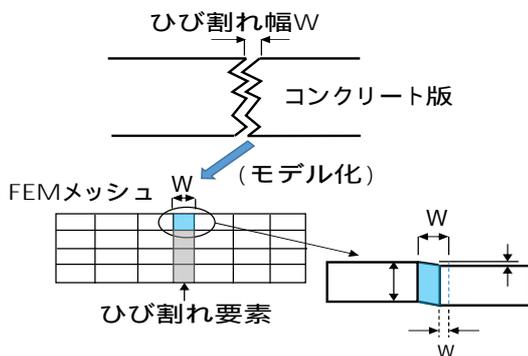


図 - 2 横ひび割れ部せん断伝達モデル

4. 研究成果

4.1 実測に基づく不同沈下量の推定

図3は東広島-呉道路の盛土域の、幅員3.85mのCRCP(版厚320mm)で実測された走行最大頻度位置における版、中間層、路床各間の鉛直変位である。路床-CRC版の変位は季節的温度変化の影響を強く受け、最大変位は夏場のおよそ0.8mmである。これは版上下面の温度差と版の膨張によると思われる。一方、路床-中間層間の変位は、季節的温度変化の

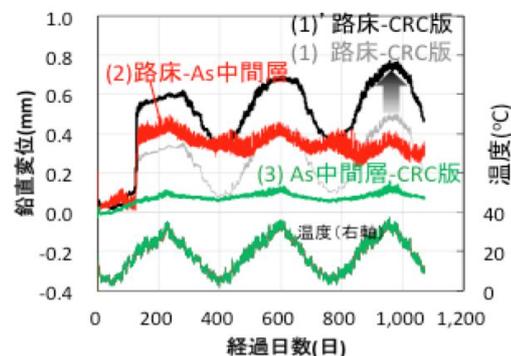


図 - 3 走行最大頻度位置(縦自由縁部から970~1020mm)における鉛直変位

影響をあまり受けず、最大で0.5 mm程度である。このことから不同沈下量は0.5 mm程度と推定される。なお、図中の温度は各埋め込みゲージで実測した版下面付近の値でありほぼ等しい。なお、冬場の路床 - CRC 版の変位が路床 - 中間層間の変位より小さいことはあり得ないと思われるので両者が一致するようにシフトしている。

4.2 版と中間層の接地

図 4 は、最大空隙深さを 0.8 mm とした場合の自重増分に伴う版と空隙下面（中間層上面）の鉛直変位と接地の有無に及ぼすクリープの影響の解析値を示したものである。ただし、版厚は 300 mm、幅員 3850 mm とし、以下の解析の場合も同様とする。クリープの影響がない弾性変位の場合は全自重が作用しても接地しないが、クリープ係数が 2 の場合は自重の 75~100% で接地する。また、(b) の図に示されているように、本解析結果は版下面の変位は中間層上面の変位を超えることはなく変位の適合条件が満足された国内外初の変位解析といえる。またこのことは接地の判定方法と空隙の剛性モデルが妥当であることを意味していると解釈できる。

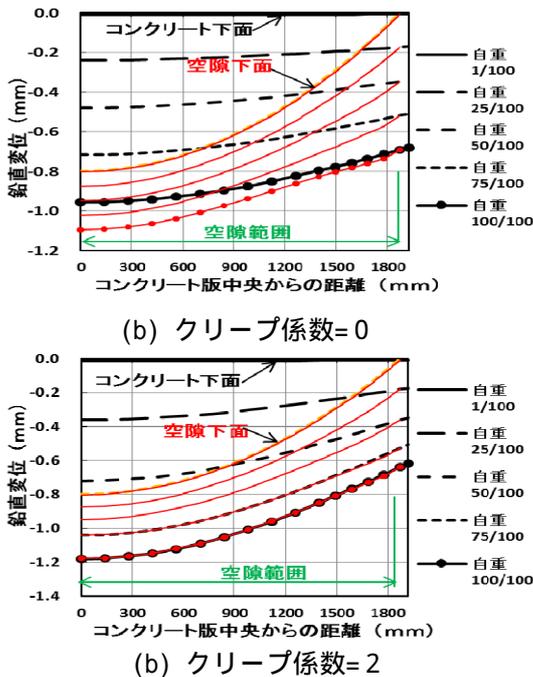


図 - 4 自重による変位と版と中間層との接地の有無に及ぼすクリープの影響

4.3 接地前後の自重応力に及ぼすクリープの影響

図 5 は、最大空隙深さを 0.5 mm とした場合の自重増分に伴う版と路盤の接地前後の版下縁の幅員方向応力増加とクリープの影響の解析値を示したものである。接地時の下

縁応力はクリープ係数が 2、1 の場合 0 の場合のそれぞれ 54%、71% となり、大きく低減される。これが不同沈下を伴うコンクリート版の応力解析におけるクリープの影響評価の重要性を表していると考えられる。

ただし、接地後は応力変動が起こるので有効ヤング係数法を適用する場合は材齢係数を適用して精度向上を図る必要がある。

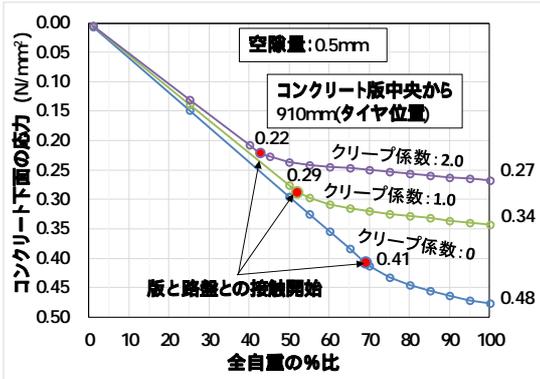


図 - 5 版と路盤の接地前後の版下縁の幅員方向応力とクリープの影響

4.4 横ひび割れ部のせん断伝達

図 6 は、自重、版上下面温度差(10)、輪荷重(98kN)が順次作用した時の横ひび割れ部の載荷側、非載荷側の版下面の幅員方向

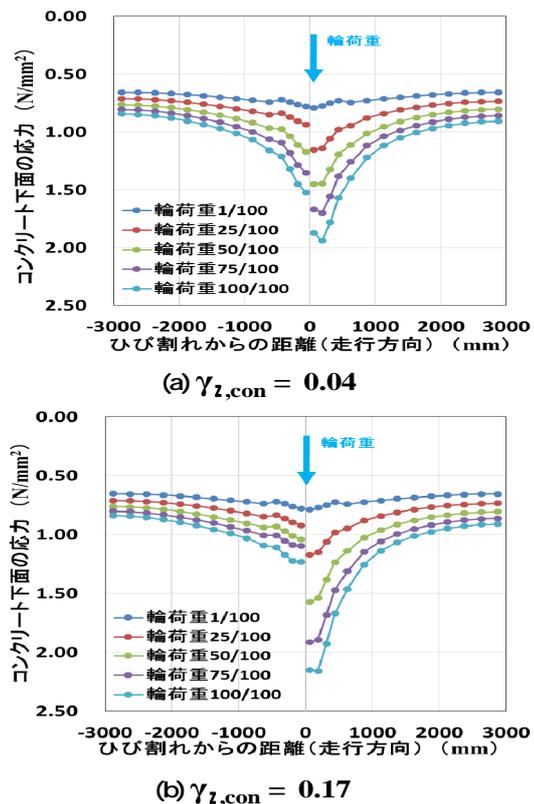


図 - 6 横ひび割れ部版下面幅員方向応力に及ぼす骨材かみ合い開始せん断ひずみの影響

応力の走行方向分布に対する骨材かみ合わせ開始時のせん断ひずみ ($\gamma_{z,con}$) の影響の一例を示したものである。この場合、最大空隙深さは 0.5 mm、自重応力に対するクリープの影響はクリープ係数を 2 として考慮している。載荷側の幅員方向下縁応力は、 $\gamma_{z,con} = 0.04$ (骨材かみ合い開始段差量=0.012 mm、ひび割れ幅=0.3 mm) の場合 2.0 N/mm²、 $\gamma_{z,con} = 0.17$ (骨材かみ合い開始段差量=0.05 mm、ひび割れ幅=0.3 mm) の場合 2.2 N/mm² と前者は後者のおよそ 90% と特段大きな差はない。しかし、幅員方向下縁応力の非載荷側/載荷側の比は $\gamma_{z,con} = 0.04$ の場合 0.83、 $\gamma_{z,con} = 0.17$ の場合 0.56 と有意な差が認められる。これはかみ合い開始せん断ひずみが小さい、すなわち段差が小さい段階で骨材がかみ合えば荷重伝達効果が高くなり載荷側の路盤への負荷が小さくなることを意味する。夏場ではひび割れ幅が小さくなり荷重伝達効果が高いことが知られている[2]。せん断ひずみで骨材かみ合い開始を設定できればかみ合い開始時の段差量が小さくなり、荷重伝達効果が高くなることと整合することになる。冬場で不同沈下を伴う場合は版厚方向にひび割れ幅が大きくなることが予想されるので、この点については今後検討が必要である。

4.5 自重、版上下面温度差、輪荷重の複合作用による応力に及ぼすクリープと空隙深さの影響

図 7 は自重、自重作用後に版上下面に温度差が生じ、その後さらに輪荷重が作用した場合の応力に及ぼすクリープの影響を最大空隙深さが 0.5 mm と 0.8 mm の場合について示したものである。クリープの影響は図 3 に

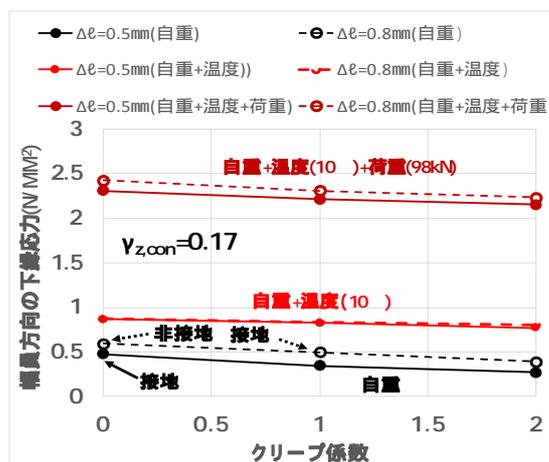


図 - 7 横ひび割れ部の版下面の幅員方向の各種応力に及ぼすクリープと空隙深さの影響

示すように、応力が持続的に生じる自重応力に現れ、クリープが変位の増加を促進するため比較的小さな自重で接地し、応力の低減効果が大きい。温度差応力と輪荷重応力は、通常、短期の荷重作用によると考えられているので自重応力+温度差応力、自重応力+温度差応力+輪荷重応力に及ぼすクリープの影響はほとんど自重応力に対するものと思われる。最大空隙深さの影響は自重応力に認められ、空隙深さが 0.5 mm から 0.8 mm に増大するとクリープ係数=0 で 25%程度、クリープ係数=1、2 で 45%程度大きくなり、クリープ係数が大きくなると増加率は大きくなる。しかし、空隙深さの差の影響は自重+温度差(10)ではほとんどない。これは、温度差応力は自重に起因する応力であるためと思われる。さらに輪荷重が作用した場合は空隙深さの差の影響が認められるが、その影響の程度は自重作用のみの場合と比べて小さい。

4.6 クリープによる各種応力の低減

図 8 はクリープ係数=0 の場合の応力で正規化したクリープと空隙深さの影響を受ける場合の応力を示したものである。この図に示されているように、クリープ係数が増大することによる応力低減は持続的の応力を生じさせる自重の場合が著しい。自重応力に加えて温度差応力、さらに輪荷重応力が作用する場合も若干の低減が認められるがこれは自重応力の低減によるものである。その低減効果はクリープ係数が 1 の場合 5%程度、2 の場合 8%程度である。また、空隙深さの影響は自重応力に認められ、自重応力に加えて温度差応力、輪荷重応力が付加される場合の影

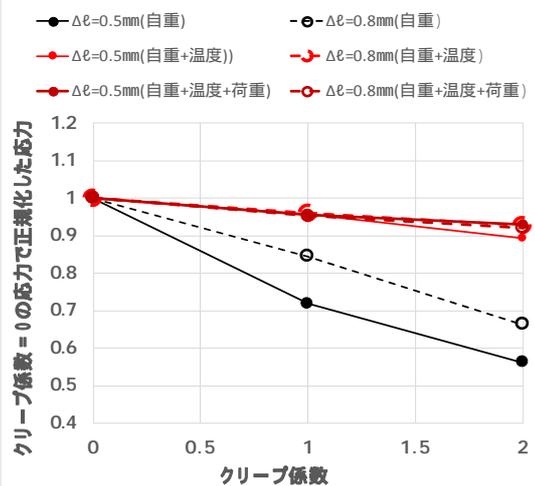


図 - 8 クリープ係数=0 の場合の応力で正規化したクリープと空隙深さの影響を受ける場合の応力

響は大きくはない。

4.7 まとめ

本研究の主な成果は以下のとおりである。

(1)版下面とアスファルト中間層(中間層)の間に空隙要素を設置した CRCP 下面と中間層上面の自重による変位の適合条件を満たし得る解析方法およびクリープの影響により版が中間層に接地する場合の解析例を示した。

(2)空隙を有する版の変位はクリープにより増大する。このため、自重増加により版と中間層が接地するときの版下面の応力はクリープの影響を大きく受けるが、クリープ係数の大小によらず全自重応力の 80%~85% を占め空隙のあることの影響は大きい。

(3)CRCP 横ひび割れ部に所定のせん断ひずみで骨材はかみ合せてせん断伝達は開始し、開始後は一定のせん断剛性を有するとするせん断伝達モデルにより載荷側、非載荷側の版下面幅員方向応力の解析が可能となった。しかし、冬場で不同沈下を伴う場合は版厚方向にひび割れ幅が大きくなると予想されるのでこれに適用可能なせん断伝達開始ひずみやせん断剛性の設定が今後の課題となった。

(4)クリープおよび空隙深さの影響は自重応力に認められたが、自重応力+温度差応力+輪荷重応力に及ぼすクリープおよび空隙深さの影響は大きくはなかった。

(5)有効ヤング係数法は変動応力に対しては精度が低下するので材齢係数の適用あるいは他のクリープ解析手法を用いて解析精度の向上を図る必要がある。

引用文献

- [1]早田修一、八谷好高、地盤の不同沈下を考慮した空港コンクリート舗装の構造設計、土木学会論文集 No.451/V-17、1992.8、pp.313-322
- [2]西澤辰男、七五三野茂、小松原昭則、小梁川雅、連続鉄筋コンクリート舗装横ひび割れの荷重伝達機能、第1回舗装工学講演会講演論文集、1996.12、pp.77-80

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

- (1)佐藤良一、亀田昭一、吉本徹：コンクリート舗装の版厚設計のあるべき姿とは[前

編]、セメント・コンクリート、836、2016.10、pp.16-23

- (2)佐藤良一、亀田昭一、吉本徹：コンクリート舗装の版厚設計のあるべき姿とは[後編]、セメント・コンクリート、837、2016.11、pp.14-22

[学会発表](計 5 件)

- (1)亀田昭一、吉本徹、佐藤良一、新しい疲労設計方法を用いたコンクリート舗装の版厚に関する一検討、第71回セメント技術大会講演要旨 2017、pp.174-175、
- (2)小川由布子、亀田昭一、佐藤良一、和田晶也、コンクリート舗装におけるひずみ計測に基づく不同沈下量の一検討、土木学会第72回年次学術講演会講演概要集、-110、2017、pp.219-220、
- (3)赤星剛、神宮祥司、佐藤良一、亀田昭一、震災で不同沈下したCRCPの復旧について、第32回日本道路会議論文集、2017、(CD-ROM, 2ページ)、
- (4)佐藤良一、亀田昭一、山崎彰、不同沈下を考慮したCRCP版のたわみ、応力解析について、第32回日本道路会議論文集、2017、(CD-ROM, 2ページ)
- (5)中村弘典、吉本徹、谷村充、佐藤良一、廃瓦細骨材で内部養生した舗装用コンクリートの自己収縮に関する検討第70回セメント技術大会講演要旨 2016、2016、pp.198-199、

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 良一 (SATO, Ryoichi)
広島大学・大学院工学研究科・名誉教授
研究者番号：20016702

(2)研究分担者

小川 由布子 (OGAWA, Yuko)
広島大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：30624546

(4)研究協力者

亀田 昭一 (KAMETA, Shoichi)
吉本 徹 (YOSHIMOTO, Toru)