

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04301

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構造解析法と長寿命版厚設計法に関する研究

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

研究代表者

佐藤 良一 (Sato, Ryoichi)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)： 不同沈下が版応力におよぼす影響を版と路盤の接地・剥離の判定、版下面と路盤との隙間の設定、横ひび割れ部のせん断伝達機構の観点から検討した。接地、剥離は荷重増分理論を適用して判定した。横ひび割れ部のせん断伝達は粗骨材のかみ合いが支配的であることを示した。版と路盤間のギャップ(隙間)は路床とAs中間層間で現場実測し約0.5mmを示した。

疲労度の解析に要する荷重群、温度差群、走行位置の総数は3120に達し、3D-FEMによる、全計算には30000超時間を要し困難であった。そのため作用の簡略化を図り、上記総数を100に絞った。さらに横断方向の着目位置の応力分布を示し、疲労計算を合理化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

不同沈下の影響を受けるCRCP版の応力解析は版と路盤の接地・剥離、横ひび割れ部のせん断伝達等高い非線形性を有する。この種の問題は埋め立て空港で検討されたが、基本的に板ばねモデルであった。そのため版と路盤とのたわみの適合条件が崩れ、版のたわみが路盤のそれより大きくなるといった矛盾があった。また、横ひび割れ部のせん断伝達が線形ばねでモデル化されひび割れ幅の影響を考慮できないせん断伝達機構を忠実に表すものではなかった。

本研究はこの問題点を克服するもので、上記ばねモデルで設計された埋立て空港のCRCPの再評価を行い、その合理性を示した。これは実務に供するものでその学術的、社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)： The effect of differential settlement on the stress of CRCP was investigated numerically from viewpoint of presence of absence of contact of slab and subbase, gap depth between slab and As intermediate layer, shear transfer mechanism of transverse crack. The presence of absence of the contact was judged by means of incremental theory. The shear transfer performance was predominant when coarse aggregates engaged with each other. The gap depth below the slab and was measured to be 0.5mm on site.

The levels of loads, temperature differences between top and bottom surface of slab and running position reached 3120 in total. Calculation time using 3D-FEM needed over 30,000 hours which was difficult to accomplish all of case. To solve this problem, decreasing load levels, calculation numbers reduced to 100. Furthermore, In order to contribute to rationalizing calculation of fatigue degree, the distribution of stress for fatigue degree was shown.

研究分野：土木材料

キーワード：Differential settlement CRCP Gap shear transfer Creep

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

不同沈下の影響評価の重要性は羽田空港や関西空港などの埋立て空港のコンクリートから成るエプロンの設計で認識された。この設計では不同沈下に対しジャッキアップを前提とした PC 版の採用かあるいは不同沈下の影響を考慮し無筋コンクリート(NC)の版厚設計法が検討された。前者は版下面にセメントミルクを注入し空洞をなくして路盤に荷重を分散するという考えであったが、セメント硬化体が粉碎され期待した機能は発揮できなかった。一方 NC の場合は版と路盤間の空洞の影響が線形ばねで評価され変形の適合条件が満足できず、版厚も信頼性が欠けるものであった。

2. 研究の目的

版と路盤の接地・剥離の合理的判定の確立、横ひび割れ部の荷重伝達(せん断伝達)機構の解明をし、自重、クリープ、版上下面の温度差、輪荷重の各作用を順次受ける CRCP 版の応力履歴を解析する手法を確立する。併せて、着目位置の応力履歴を明示し、疲労度の評価を行う。

3. 研究の方法

(1)不同沈下の影響を受ける CRCP の構造解析は非線形となる。そのため、次の全体系平衡微小増分方程式を定式化し、これの数値解析を基本とする

ただし、 $\{\Delta F_i\} = [K_i]\{\Delta \delta_i\} - \{\Delta F_{cr,i}\}$   $\{F_i\}$ : 全体系の増分節点力ベクトル、 $[K_i]$ : 全体系の剛性マトリクス

$\{\delta_i\}$ : 全体系の変位増分ベクトル、 $\{F_{cr,i}\}$ : クリープひずみに対する見かけの

増分節点力ベクトル

(2) 不同沈下量の直接測定。

不同沈下量測定方法は確立されていないので、図-1 に示す測定方法の開発を行った。沈下量は路床にアンカーを固定し、沈下に伴う変位を測定した。最大沈下量は図-2 に示すように 0.5 mm で、版の場合は 0.8 mm であった。

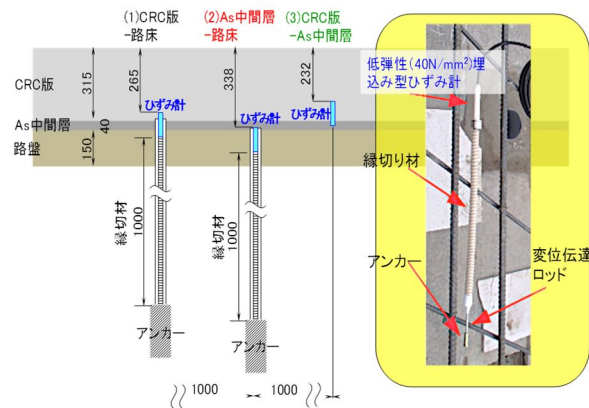


図-1

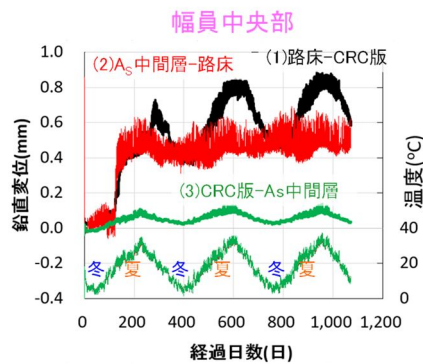


図-2

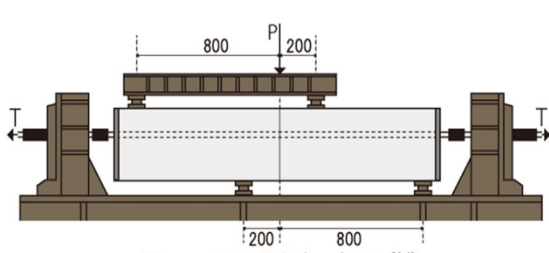


図-3 引張・せん断試験方法

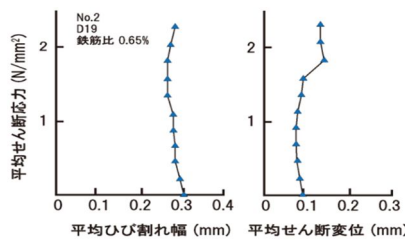


図-4 ひび割れ幅、せん断変位の同時測定

(3)せん断伝達機構の解明

図 4 は、図 3 のひび割れの想定箇所にひびわれ幅とせん断変位の同時測定を可能とする 2 軸変位計を取り付け、その後ひび割れを発生させた後、せん断力を負荷した時のひび割れ幅とせん断変位の測定結果を示したものである。せん断力が作用していなくともせん断変位が生じている。これは粗骨材がかみ合うまでせん断抵抗しないことを示している。かみ合い後は、せん断変位はほとんど生じない。すなわちかみ合い開始時のせん断変位が決定的役割を果たすといえる。この場合、せん断変位はひび割れ幅の影響を受けるのでひび割れ幅で無次元化したせん断ひずみが合理的な指標となる。

(4) ひび割れ幅に及ぼす不同沈下の影響

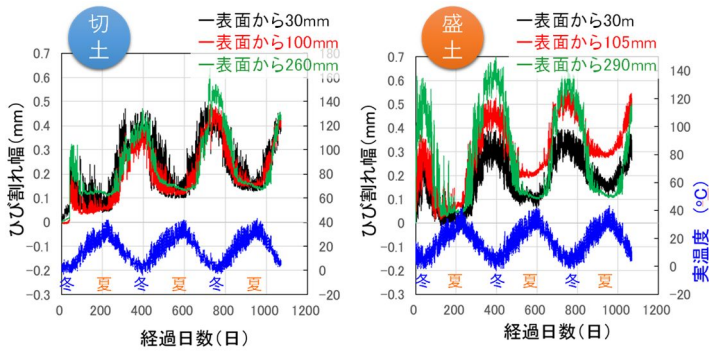


図-5 版厚方向のひび割れ幅の経時変化に及ぼす不同沈下の影響

不同沈下は、自重による版のひび割れ幅に影響を与え、下面側の幅を増大させる。これは自重により曲げ変形が生じるためである。切土では曲げ変形が生じないのでひび割れ幅は版厚方向で変化しない。

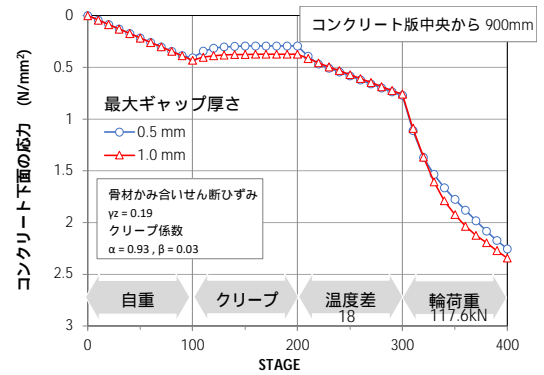


図-6 簡略化を適用した自重、クリープ、温度差、輪荷重を受ける応力履歴

(5) 簡略法の提案

疲労度を求める計算数は3120、1ケースの計算時間が11時間程度で、現実を求めることは不可能である。そこで表1に示すように、簡略化を図った。すなわち表2に示すように、荷重は3水準のうちの平均値を用い、頻度は3水準の合計値とした。

これに基づく応力履歴は図6のようなものである。この計算値は疲労度を求めることを目的としたものである。計算回数は表1のとおりである。

表-1 計算数の簡略化

簡略の項目		一版厚当たりの計算回数	疲労度
基準	荷重群13 温度差15 走行位置16	3120	0.758
荷重群のみ	荷重群4 温度差15 走行位置16	960	0.859
温度差のみ	荷重群13 温度差5 走行位置16	1040	0.791
走行位置のみ	荷重群13 温度差15 走行位置5	975	0.764
ALL	荷重群4 温度差5 走行位置5	100	0.897

表 2 簡略化の1例

荷重 F (kN)	1日頻度 (輪数)	荷重 F (kN)	1日頻度 (輪数)
98.0	16.9	19.6(平均値)	22,540.2
117.6	14.0		
137.2	3.7		

4. 研究成果

(1) 疲労度と版厚の関係

線形ばねを適用し、ギャップあり/ギャップ無の応力比に基づいて求めた版厚(東呉法)は本解析法による版厚より20mm程度厚い。これは解析精度も1因と思われる。

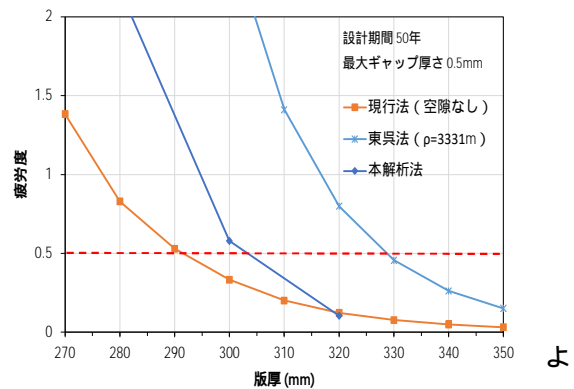


図-7 簡略化に基づく疲労度と版厚の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 泉尾英文、佐藤良一、亀田昭一、吉本徹、小川由布子	4. 巻 58
2. 論文標題 不同沈下の影響を受ける連続鉄筋コンクリート舗装の構造解析の検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 舗装	6. 最初と最後の頁 6, 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤孝文、新見龍男、吉本徹、佐藤良一	4. 巻 52
2. 論文標題 骨材寸法の違いが舗装用コンクリートの曲げ強度および曲げ疲労特性に及ぼす影響の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 舗装	6. 最初と最後の頁 10-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉本 徹、亀田 昭一、佐藤 良一	4. 巻 76
2. 論文標題 舗装用コンクリートの寸法効果を考慮した設計曲げ疲労曲線の提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集E1(舗装工学)	6. 最初と最後の頁 18、35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤良一	4. 巻 No.319
2. 論文標題 コンクリート舗装の目指すべき方向	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ZENNAMA	6. 最初と最後の頁 14, 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 泉尾英文、佐藤 良一、亀田 昭一、吉本 徹、宮坂洋介、小川由布子	4. 巻 58
2. 論文標題 不同沈下の影響を受ける連続鉄筋コンクリート舗装の構造解析の検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 舗装	6. 最初と最後の頁 6,11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 泉尾 英文、佐藤 良一、亀田 昭一、小川由布子、吉本 徹
2. 発表標題 CRC版の応力解析におけるせん断伝達モデルの検討
3. 学会等名 土木学会全国大会第77回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 泉尾 英文、佐藤 良一、亀田 昭一、吉本 徹
2. 発表標題 CRC版応力に及ぼす不同沈下による版下の空洞深さの影響の数値解析的検討
3. 学会等名 土木学会全国大会第76回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 泉尾 英文、佐藤 良一、亀田 昭一、吉本 徹
2. 発表標題 不同沈下による版下の空洞がCRC版応力に及ぼす影響の数値解析的検討
3. 学会等名 日本道路会議、第34回日本道路会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 泉尾 英文、佐藤 良一、亀田 昭一、吉本 徹
2. 発表標題 不同沈下を考慮したCRC版の応力解析におけるせん断伝達モデルの検討
3. 学会等名 土木学会全国大会第75回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉本 徹、新見 龍男、飯田 達郎、佐藤 良一、山崎 彰
2. 発表標題 長寿命設計により施工した 広島・呉道路におけるコンクリート舗装のCO2排出量
3. 学会等名 土木学会全国大会第75回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤孝文、新見龍男、吉本 徹、佐藤 良一
2. 発表標題 粗骨材の最大寸法が20mmの舗装用コンクリートにおける曲げ強度の寸法効果について
3. 学会等名 土木学会全国大会第75回年次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R.Sato, H.Kawakane, H. Hyodou, K. Nakarai and K. Kawai
2. 発表標題 Do you believe shrinkage-induced degradation of shear tension strength in reinforced concrete beams?
3. 学会等名 Advances in Construction Materials, Proceedings of the ConMat ' 20 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 亀田昭一、佐藤良一、小川由布子、吉本徹、宮坂洋介
2. 発表標題 不同沈下を考慮したCRC版の自重、温度差、輪荷重による応力履歴解析について
3. 学会等名 土木学会全国大会第74回年次学術講演会講演概要集、V-35
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤良一、亀田昭一、吉本徹、泉尾英文
2. 発表標題 コンクリート舗装の普及拡大実現可能性を探る
3. 学会等名 第46回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤良一
2. 発表標題 コンクリート舗装の生きる道は？
3. 学会等名 全国生コンクリート工業組合連合会等（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤良一
2. 発表標題 コンクリート舗装に関する話題提供
3. 学会等名 土木学会 示方書改訂小委員会運営部会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川由布子、亀田昭一、佐藤良一、山崎彰
2. 発表標題 コンクリート舗装における長期ひずみ計測に基づく不同沈下量の一検討
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会講演会概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤良一、亀田昭一、山崎彰、宮坂洋介
2. 発表標題 不同沈下を考慮したCRC版の応力に及ぼすクリープの影響について
3. 学会等名 土木学会第73回年次学術講演会講演会概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤良一
2. 発表標題 不同沈下を考慮した設計の高度化への取り組み
3. 学会等名 新潟県南魚沼市廃棄物対策課（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤良一
2. 発表標題 コンクリート舗装の長寿命化に向けて
3. 学会等名 (一社)セメント協会、北海道土木技術会舗装研究委員会（招待講演）
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 佐藤良一
2. 発表標題 コンクリート舗装の長寿命化実現への取り組み
3. 学会等名 全国生コンクリート工業組合連合会等（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤良一
2. 発表標題 コンクリート舗装の長寿命化に向けて
3. 学会等名 土木学会コンクリート舗装小委員会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	半井 健一郎  (Nakarai ken-ichirou)  (10359656)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授   (15401)	
研究 分担者	小川 由布子  (Ogawa yuko)  (30624564)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教   (15401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------