

ダウエルバーで連結されたプレキャストコンクリート舗装のトンネル内道路への適用性

西澤辰男¹，田村三知行²，熊坂光史³

¹正会員 工博 石川工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 (〒929-03 河北郡津幡町北中条)

²新和コンクリート工業生産技術部 (〒946 北魚沼郡小出町大字十日町)

³前田道路株式会社技術部 (〒141 東京都品川区上大崎 3-14-12)

トンネル内道路のコンクリート舗装の補修工法として、ダウエルバーで連結されたプレキャストコンクリート舗装が適用可能であるかどうかについて検討した。まずその力学的挙動について、路盤、特に目地のダウエルバーの効果について調べた。また、温度応力についても検討した。これらの結果に基づいて疲労解析および段差解析を実施し、通常のトンネル内のコンクリート舗装と比較している。この結果、曲げ強度を高め、さらに路盤強化を図ることによって、トンネル内舗装へ適用可能であることが判明した。

Key Words : Precast concrete pavement, Dowel bar, Fatigue, Faulting, FEM analysis

1. まえがき

プレキャストコンクリート舗装 (Precast Concrete Pavement:PCCP) は通常のコンクリート舗装 (Normal Concrete Pavement:NCP) とは異なり、工場で製作された比較的小さな寸法のコンクリート平板を路盤上に設置して施工されたものである^{1),2),3)}。工場製作されたコンクリート平板を用いるため、十分な強度を有し品質が安定していること、施工にあたって大型の施工機械が必要ないこと、養生期間も必要ないことなどが最大の特長である。また、補修も破損した平板を取り替えるだけであり、比較的容易である。このようなことから、トンネル内のコンクリート舗装の補修などに用いられることが多い⁴⁾。

これまでの研究によれば⁵⁾、コンクリート平板の寸法が小さい場合には交通荷重によるたわみが大きく、路盤への負担が大きいことが分かっている。したがって、重交通道路に用いる場合には、コンクリート平板を連結してたわみを抑える対策が必要である。その1つの方法として、横目地にNCPに用いられているダウエルバー (スリップバーとも呼ばれる) を用いることが考えられる。ダウエルバーを用いることで、目地縁部のたわみが減少して路盤の損傷を防ぐことができる。

本研究においては、ダウエルバーで連結されたPCCPの力学性状と、実際の重交通道路に適用した場合の舗装としての寿命を検討するために、疲労解析ならびに段差解析を行った。これらの解析結果を、重交通道路に用いられているNCPと比較し、それらと同等の寿命を確保するために必要なPCCPの構造条件について検討した。

討した。

2. ダウエルバーで連結されたPCCPの力学性状

(1) 構造

本研究で想定したPCCPの構造を図-1に示す。1枚のプレキャストコンクリート版は幅1.7m、長さ5m、厚さ250mmである。このようなプレキャストコンクリート版を4枚横に並べてタイバーで連結して2車線とし、この部分を長手方向にダウエルバーで連結して延長を伸ばしていく。運搬、設置においてプレキャストコンクリート版を吊り下げるため、自重によってひび割れが生じないように最低限の鉄筋が配されている。

横目地の構造を図-1に示す。径25mm、長さ500mmの丸鋼を、あらかじめ片方のプレキャストコンクリート版側に挿入しておき、施工後、反対側のプレキャストコンクリート版の穴に磁石で誘導して挿入し、その後、グラウト剤を注入して固定する。このようなダウエルバーを1枚の平板に2から3箇所設置する。

本研究では、ダウエルバーの径や、設置間隔が力学的な挙動にどのように影響するかについても検討している。

(2) プレキャストコンクリート版の性状

プレキャストコンクリート版自体のひび割れ発生荷重を求めるために、実物大の曲げ試験を実施した。スパン4mとし、中央に線荷重を作用させて、版中央下面のひずみと変位を計測した。図-2と図-3は荷重変位曲

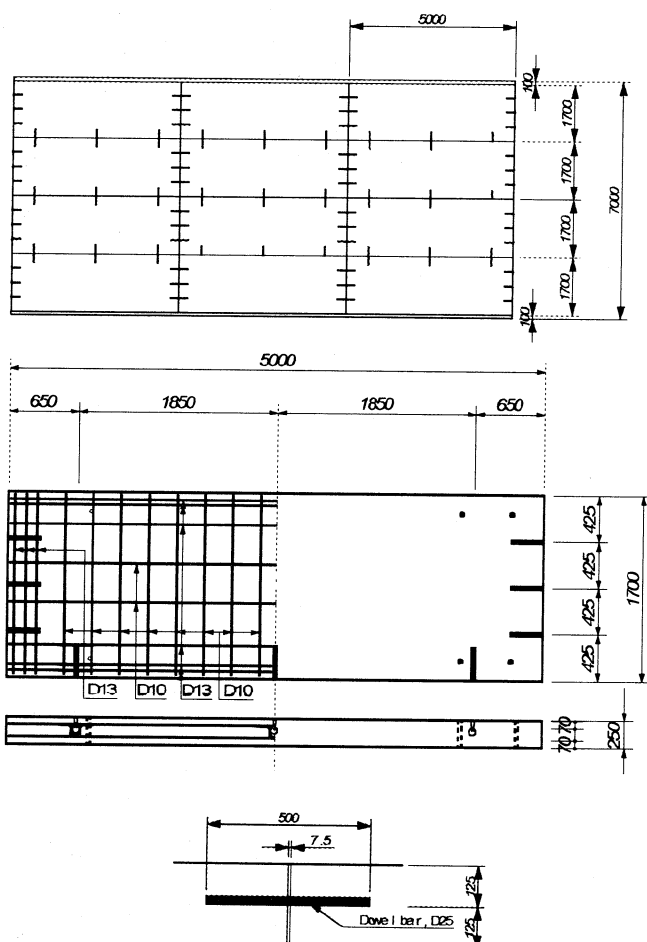


図-1 ダウエルバーで連結された PCCP(単位:mm)

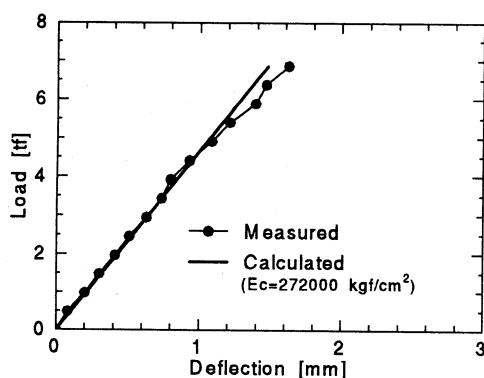


図-2 曲げ試験における荷重-変位曲線

線ならびに応力ひずみ曲線である。図から、プレキャストコンクリート版の弾性係数は約 272000 kgf/cm^2 であること、またひび割れ荷重は 7 tf 、その時の曲げ応力は 37 kgf/cm^2 であることが分かる。自重による初期応力 12 kgf/cm^2 を考慮すると曲げ強度としては 49 kgf/cm^2 を得る。

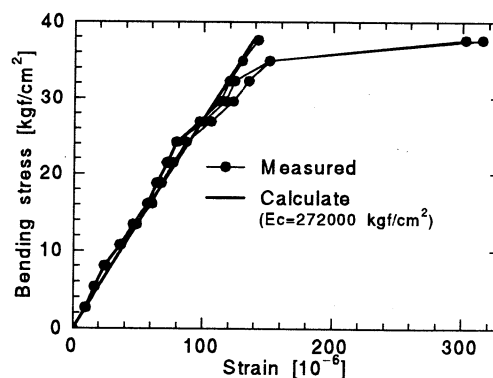


図-3 曲げ試験における荷重-変位曲線

3. 力学的な特性

まず、PCCP の力学的挙動について FEM によって検討する。特に目地の構造の影響、路盤の剛性の影響について詳しく調べ、PCCP の挙動を NCP 構造と比較する。

(1) 解析モデル

本研究においては、コンクリート舗装版の応力解析に平板 FEM を用いる⁶⁾。このモデルにおいてはコンクリート版は 4 節点の 12 自由度の平板要素に分割し、路盤は 1 次元のばねモデルである Winkler 基礎とする。横目地は、ダウエルバーの機能をモデル化した修正バーモデルに基づいた目地要素に置き換える⁷⁾。このようなモデル化にに基づいたコンクリート舗装の剛性方程式は、次式のようにになる。

$$(K + J + H) \cdot d_e = f_s + f_v - (J + H) \cdot d_t \quad (1)$$

ここに、

- K** : コンクリート版の剛性マトリックス
- J** : 目地あるいはひび割れ部の剛性マトリックス
- d_e** : 荷重および自重による節点変位ベクトル
- d_t** : そりによる節点変位ベクトル
- f_s** : 荷重ベクトル
- f_v** : 自重ベクトル
- H** : 路盤の剛性マトリックス

である。

さらに、**d_t** は、*i* 節点においては次のようになる。

$$d_{ti} = \begin{Bmatrix} w_{ti} \\ \theta_{xti} \\ \theta_{yti} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} w_{ti} \\ -\frac{\partial w_{ti}}{\partial y} \\ \frac{\partial w_{ti}}{\partial x} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

また温度勾配によるそり変形は次式で計算できる。

$$w_{ti} = -\frac{3M_t}{4h^3E}(x_i^2 + y_i^2) \quad (3)$$

ここに,

$$M_t = \alpha E \int_{-h/2}^{h/2} T z dz$$

- z : コンクリート版内の厚さ方向の座標
 α : コンクリートの線膨張係数
 T : コンクリート版内の温度分布
 h : コンクリート版の厚さ
 E : コンクリートの弾性係数
 x_i : 版中央を原点とした i 節点の x 座標
 y_i : 版中央を原点とした i 節点の y 座標

比較的寸法の小さいコンクリート版の場合、荷重用点から離れた場所が路盤から浮き上がる現象がみられる。また、そり変形によってコンクリート版と路盤が離れることもある。このようにコンクリート版と路盤の接触が失われた場合にはその部分の路盤 K 値を 0 とする路盤モデルとした。このような路盤条件を仮定した場合、路盤の剛性マトリックスは平板のたわみの関数となり、剛性方程式 (1) が非線形になる。そこで、式 (1) を解くために Newton-Raphson 法を採用した。通常、3~4 回のくり返し演算で収束して解が得られる。

(2) 計算条件

a) 舗装構造

計算において設定した舗装構造とその性状は表-1 のとおりである。コンクリートの性状については、プレキャストコンクリート版の弾性係数は材料試験の結果を用い、コンクリート舗装は通常の舗装用コンクリートと同程度とした。版厚は、PCCP で 250mm、NCP では重交通道路を対象として 300mm とした。版幅は 2 車線のトンネル内道路を想定し、PCCP の場合 4 枚ならべ両端部の処理を含めて 7.0m、NCP の場合には 3.5m を 2 枚ならべ 7.0m とした。

PCCP においては路盤の負担が大きいので、路盤の構造を強固にしておく必要がある。そこで、路盤 K 値を 20 から 60kgf/cm³ まで変化させ、その影響を調べることにした。なお、プレキャストコンクリート版の鉄筋量は少ないので、版の剛性には含めていない。また、プレキャストコンクリート版の下に注入したグラウトの影響は明確でないので考慮していない。

b) 横目地の構造

PCCP における横目地のダウエルバーの配置は、図-4 に示すように 2 つのタイプを想定した。その性状も表-2 に示す。ここでは、ダウエルバーの径を 25mm と 30mm の 2 種類を設定し、ダウエルバーの径の影響を見ることにした。また、NCP の横目地は要綱に従い、径 25mm、長さ 700mm のダウエルバーを 40cm 間隔で配置した。ダウエルバーのその他の性状は PCCP のそれと同様である。

表-1 コンクリートの材料および路盤性状

項目	NC	PCCP
コンクリートの弾性係数 [kgf/cm ²]	3.5×10^5	2.72×10^5
コンクリートのポアソン比	0.20	0.20
版厚 [mm]	300	250
版幅 [m]	1.7×4	3.5×2
路盤 k_{30} 値 [kgf/cm ³]	20, 40, 60	

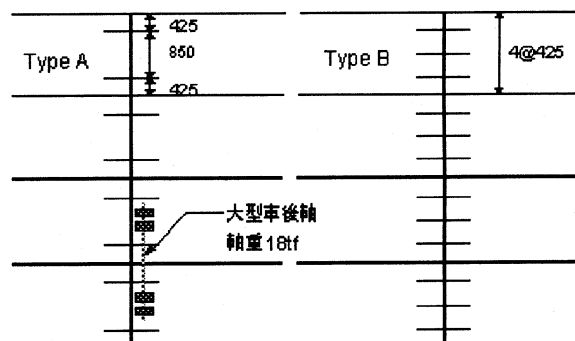


図-4 ダウエルバーの配置

表-2 ダウエルバーの性状

項目	値
弾性係数 [kgf/cm ²]	2.1×10^6
ポアソン比	0.3
径 [mm]	25, 30
長さ [mm]	500
支圧係数 [kgf/cm ³]	400000

さらに、目地の突き合わせ面における摩擦による荷重伝達の効果の影響を調べるために、目地部のせん断剛性を 1 から 10⁷kgf/cm² まで変化させて計算を行った。

解析を簡単にするため、縦目地のタイバーによるせん断伝達はせん断ばねで表現した。その際のばね係数の値は 100kgf/cm² とした。タイバーによる荷重伝達はわずかであると考えられるためである。

交通荷重としては大型車後軸を想定し、軸重 18tf を図-4 に示すように横目地縁部の平均的な走行位置に作用させた。

(3) 計算結果

FEM による解析の結果、最大応力および最大たわみは車輪直下に生ずることが明らかとなった。そこでこれらの値に、路盤 K 値や目地の構造がどのような影響を及ぼすかについて検討する。

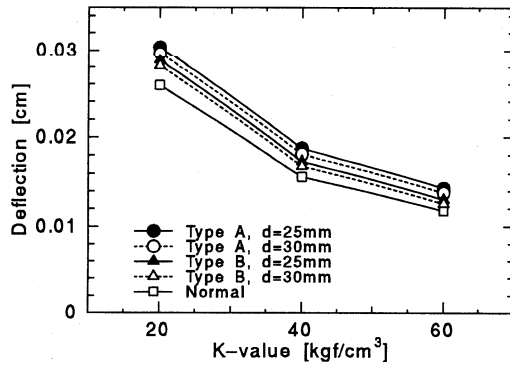


図-5 路盤 K 値と荷重直下のたわみの関係

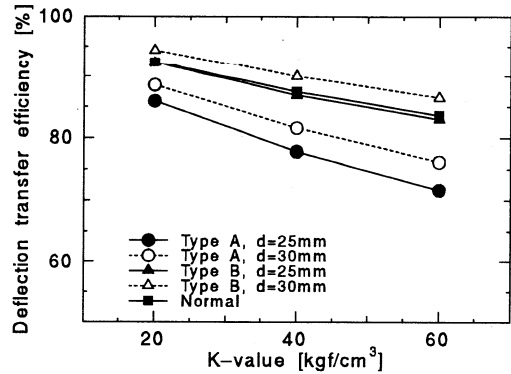


図-6 路盤 K 値とたわみ伝達率の関係

a) 路盤 K 値の影響

図-5 は最大たわみと路盤 K 値の関係を示したものである。路盤 K 値を増加させるとたわみはかなり小さくなるが、60 kgf/cm³よりも大きいとその影響はかなり小さくなる。

図-6 は、目地部におけるたわみ伝達率と路盤 K 値の関係を示したものである。ここで、たわみ伝達率とは、非載荷側の最大たわみと載荷側の最大たわみの単純な比である。たわみ伝達率は全体的に高いが、路盤 K 値が増加すると減少している。これは、路盤 K 値の増加に伴うたわみの減少の度合いが、大きなたわみほど大きいいため、相対的な比としては減少するのである。PCCP においても、ダウエルバーを多く配置し (Type B)、さらに径を太くすると、NCP よりもたわみ伝達率が高くなる。

図-7 は最大応力と路盤 K 値の関係を示したものである。路盤 K 値の増加は応力の減少にはあまり効果がない。応力は NCP に比べて PCCP の方がかなり大きい。一般的に、応力に対しては版厚の影響が大きく、この場合プレキャストコンクリート版が通常のコンクリート版に比べて薄いためである。ダウエルバーの配置が同じであれば、ダウエルバーの径を 25mm から 30mm に増加させても応力値にはほとんど変化が無く、そのため図中では○と●、△と▲が重なってしまっている。

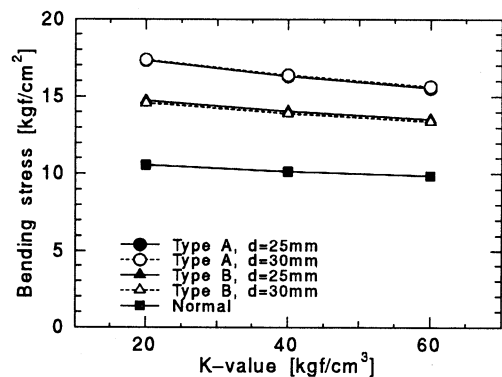


図-7 路盤 K 値と最大応力の関係

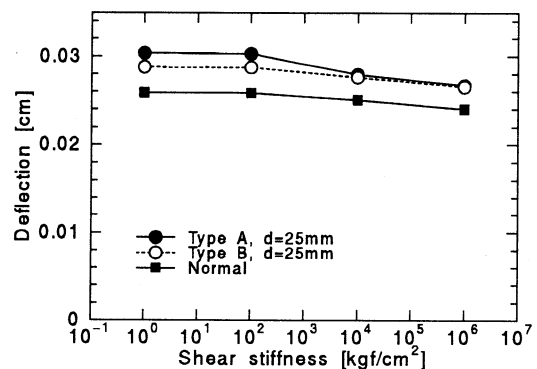


図-8 目地のせん断ばね剛性と荷重直下のたわみの関係

b) 横目地部のせん断剛性の影響

本項においては、横目地部のせん断剛性の影響について、路盤 K 値を 20 kgf/cm³、ダウエルバーの径を 25mm として、Type A と Type B の PCCP と NCP を比較する。

図-8 に最大たわみとせん断ばね定数の関係を示す。PCCP のせん断ばね係数が 10⁴ kgf/cm² を超えると、その効果が表れてくる。10⁶ kgf/cm² になると、NCP のせん断ばね係数が 1 kgf/cm² のときとほぼ同じになる。

図-9 にたわみ伝達率とせん断ばね定数の関係を示す。PCCP のたわみ伝達率は、せん断ばね係数を

10⁴ kgf/cm² 以上とすることで NCP と同じ程度にまで上げることができる。

図-10 に最大応力とせん断ばね定数の関係を示す。全般に PCCP の応力は NCP に比べて大きな値となる。ダウエルバーの配置の影響はせん断ばね係数が小さいときにはかなり大きい。PCCP のせん断ばね係数を 10⁴ kgf/cm² 以上とすると、ダウエルバーの配置による応力差はほとんどなくなる。また、PCCP においてせん断ばね係数を 10⁶ kgf/cm² とすると、NCP においてせん断ばね係数を 1 kgf/cm² とした場合と同程度の応力になる。

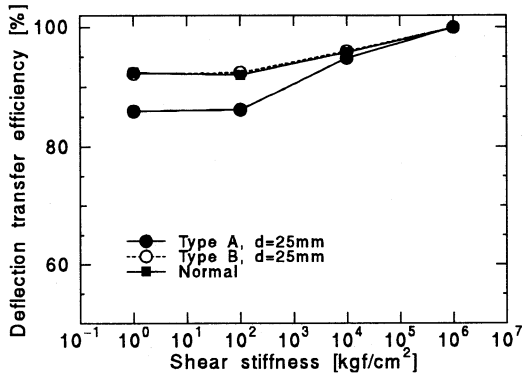


図-9 目地のせん断ばね剛性とたわみ伝達率の関係

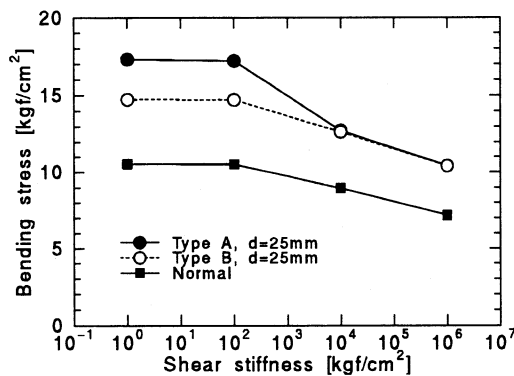


図-10 目地のせん断ばね剛性と最大応力の関係関係

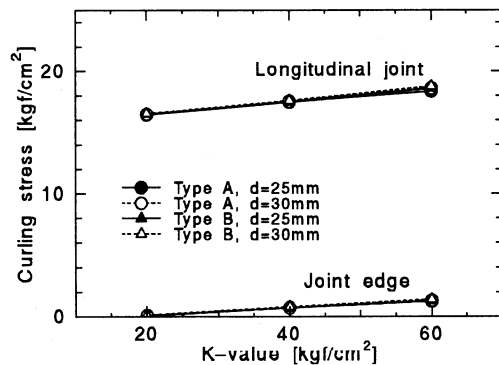


図-11 路盤 K 値とそり応力の関係

c) そり応力

コンクリート舗装の構造設計には、温度応力の算定が必要であって、NCP については要綱⁸⁾に算定式が与えられている。しかしながら、PCCP の温度応力の算定法については規定がない。寸法の比較的小さな平板舗装の温度応力についてはそり応力が支配的であって、FEM 解析によってそり応力の推定が可能であることが明らかになっている¹⁰⁾。本研究で取り扱っているプレキャストコンクリート版の寸法はやや大きい、このような平板とそれほど差はないと考えられる。そこで、FEM 解析を用いて PCCP 版のそり応力について検討

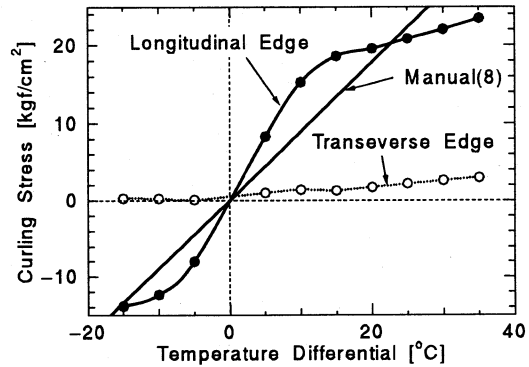


図-12 温度差とそり応力の関係

する。

コンクリートの線膨張係数を仮定し、コンクリート版の上下面の温度差を 0.6 から 1.2 まで変化させて計算を行った。後の疲労解析の着目点である横目時縁部と自由縁部のそり応力を算定した図-11 は路盤 K 値とそり応力の関係をみたものである。路盤 K 値が増加するとわずかながらそり応力も増加する。これは、路盤 K 値が大きい程の路盤の拘束が強いためである。いずれにしても、路盤 K 値、ダウエルバーの径や配置の影響は非常に小さく、この範囲においてその差はほとんど無視できる。

図-12 は、路盤 K 値 20kgf/cm³ の場合のそり応力と温度差の関係である。後の疲労解析に必要な目地縁部および縦目地縁部のそり応力に着目している。図から明らかなように、縦目地縁部のそり応力は温度差が小さいときには FEM 解析結果は要綱式よりも高めになるが、温度差が高くなると逆になる。一方、横目地縁部においてはそり応力はほとんど発生しない。これは、プレキャストコンクリート版の幅が 1.7m と非常に狭いこと、またそれに比べて版長が 5m と全体に細長くなっているためである。このようなことから、以下の疲労解析において、温度応力としてのそり応力は縦目地縁部のみに考慮することとする。

4. 疲労解析

(1) 疲労解析法

疲労解析においては、セメントコンクリート舗装要綱⁸⁾に従って疲労度を計算する。すなわち、コンクリート版の疲労度、 F_d は以下のように算定する。

$$F_d = \sum \frac{N_{total}}{N_{pt}} \cdot f_p \cdot f_t \quad (4)$$

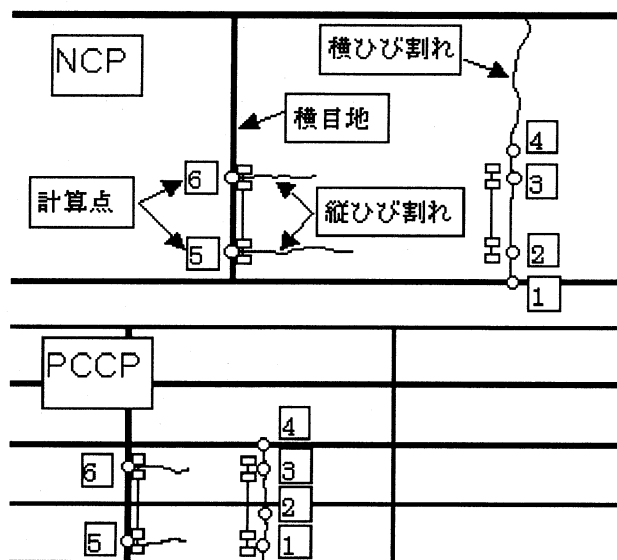


図-13 F_d を計算する着目点

ここに,

- N_{total} : 設計期間の全通過軸数
 N_{pt} : 荷重応力と温度応力の和
 による疲労繰り返し数.
 f_p : 荷重応力の頻度
 f_t : 温度応力の頻度

F_d が1.0を超えたとき、疲労ひび割れが発生すると考える。

F_d を計算する位置は図-13の中で番号を付けられた丸印の点である。図中には、それぞれの計算点で疲労の対象とするひび割れも示している。NCPにおいては、目地の間の中間部で4点(1から4)、横目地縁部で2点(5,6)の計6点において疲労度を計算する。中間部の疲労度が1を超えると横ひび割れが発生し、横目地縁部の疲労度が1を超えると横目地から縦ひび割れが発生すると考える。PCCPについても同様の点で F_d を計算した。 F_d の基本的な計算の考え方は要綱によっており、具体的な計算は文献⁹⁾に示された手順に従って行った。

(2) 計算データ

a) 構造条件

計算に用いたコンクリート舗装およびPCCPの構造は以下のとおりである。基本的な構造は前項で示したものをを用いるが、PCCPの目地構造としてはType Bとしダウエルバーの径は25mmを用いる。路盤K値は、NCPの場合は要綱に従い20kgf/cm³、PCCPの場合には路盤強化を前提として30kgf/cm³とした。

荷重応力についてはFEMを用いて計算する。車輪の

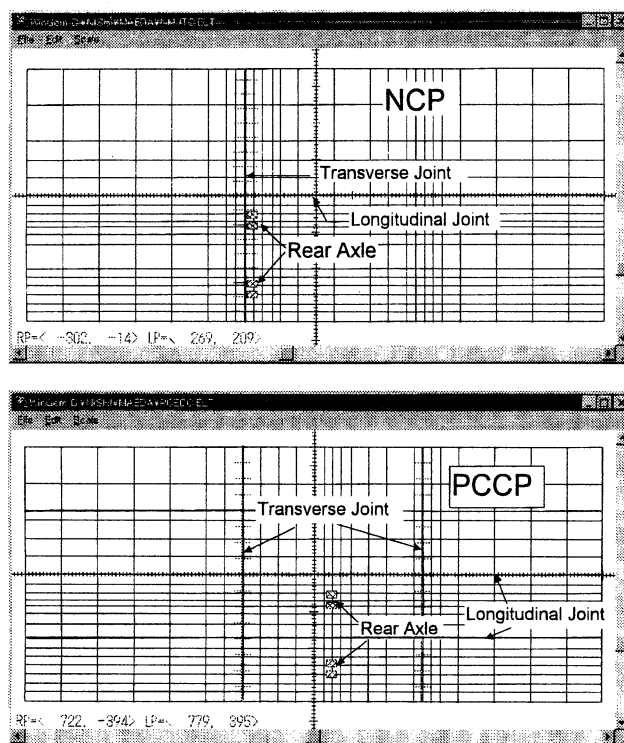


図-14 応力解析に用いた要素分割

走行位置分布を考慮するため、大型車後軸を自由縁部から0.7mを中心に左右0.3mずらして F_d を計算する点の応力を計算しておいた。応力解析に用いた要素分割を図-14に示す。

b) 材料条件

計算に用いたコンクリートおよびダウエルバーの材料性状は前節の計算に用いたものと同じである。コンクリートの疲労曲線はコンクリート標準示方書舗装編¹¹⁾に従い、破壊確率5%と50%のものをを用いる。曲げ強度はNCPの場合には45kgf/cm²とした。

PCCPの場合には工場製作であること、また材料試験結果を踏まえ、45, 50, 55kgf/cm²と変化させて、曲げ強度の影響を見ることにした。

c) 交通条件

交通条件は以下のように設定した。

- (1) 大型車交通量を1日6685台/1方向とし、走行車線の車線分担率を0.6とした。解析期間を20年とすると、大型車の総交通量は6685×365×0.6×20=34,160,350台となる。
- (2) 大型車1台あたりの平均軸数は2.6とした。
- (3) 大型車の車輪走行位置分布は、正規分布と仮定した。右側のレーンマークから大型車の右車輪の平均走行位置が70cmの地点にあるとし、標準偏差は20cmと仮定した。
- (4) 輪荷重分布は5t以上を指数分布とし、最大輪荷重は14tfとした。

表-3 NCP の疲労解析結果 ($\sigma_a=45\text{kgf/cm}^2$)

温度差	通常 (低減なし)		半分 (0.5 に低減)	
	50 %	5 %	50 %	5 %
1	0.0002	0.0244	0.0000	0.0000
2	0.0379	2.1191	0.0000	0.0001
3	0.0122	0.8154	0.0000	0.0026
4	0.0001	0.0096	0.0000	0.0067
5	0.0004	0.0394	0.0000	0.0003
6	0.0024	0.1934	0.0000	0.0014

表-4 PCCP の疲労解析結果 ($\sigma_a=45\text{kgf/cm}^2$)

温度差	通常 (低減なし)		半分 (0.5 に低減)	
	50 %	5 %	50 %	5 %
1	0.1534	7.0752	0.0005	0.0524
2	0.0000	0.0029	0.0000	0.0000
3	0.0355	1.9043	0.0001	0.0141
4	0.0001	0.0062	0.0000	0.0000
5	0.0015	0.1409	0.0015	0.1393
6	0.0018	0.1730	0.0018	0.1711

(5) 昼間の交通分担率は 0.7 とした。

d) 温度条件

温度応力に関しては NCP と PCCP とで計算法を変える。すなわち、NCP の温度応力は要綱式を用いる。PCCP の温度応力式は前項で示した FEM 解析結果を用いる。セメントコンクリート舗装要綱にしたがって、コンクリート版上下面の温度差の分布を設定した。ただし、トンネル内の温度勾配は小さいことも考えられるので、通常温度差を 1/2 に低減した場合も想定した。拘束係数 C_w は NCP の場合、目地間隔が 10m であるから $C_w = 0.96$ とした。

(3) 解析結果

a) コンクリート舗装

NCP の疲労解析結果を、各点について表-3 にまとめた。表中の 1 カラム目の数字は、図-13 に対応した計算点の番号である。ほとんどの F_d が 1.0 を下回っているが、温度差が通常で、破壊確率が 5% の場合の計算位置 2 (左車輪の平均走行位置) で 1.0 を超えており、この条件の下では横ひび割れが発生する可能性がある。このような結果になるのは、コンクリート版の幅が 3.5m 狭く、大型車の左車輪が自由縁部に近い点を走行することによるのであって、トンネル内舗装の特徴である。実際にはトンネル内の温度差はかなり小さいので、温度差の半分の F_d となり、想定したコンクリート舗装でも 20 年以上の寿命を有すると考えられる。

b) PCCP

PCCP の疲労解析結果を表-4 から表-6 に示す。曲げ強度 45kgf/cm^2 で温度差が通常の場合、版中央部の車輪走行位置 (1 と 3) の F_d が 1.0 を超えており、ここから横ひび割れが発生する可能性がある。舗装版が長手方向に細長いので、この方向に大きな曲げ応力が発生するのに加えて、この方向のそり応力も無視できないからである。一方、そり応力の小さい横目地の F_d はかなり小さく、温度差の大小にほとんど無関係である。しかしながら、いずれの場所においても温度差が半分になれば F_d は 1.0 よりも小さくなるが、それでも NCP

表-5 PCCP の疲労解析結果 ($\sigma_a=50\text{kgf/cm}^2$)

温度差	通常 (低減なし)		半分 (0.5 に低減)	
	50 %	5 %	50 %	5 %
1	0.0077	0.5171	0.0001	0.0074
2	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000
3	0.0021	0.1598	0.0000	0.0023
4	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000
5	0.0001	0.0187	0.0001	0.0185
6	0.0002	0.0229	0.0002	0.0227

に比べると全般的に大きな値となる。これはプレキャストコンクリート版厚が 250mm と薄いため、荷重による曲げ応力がかなり大きいからである。曲げ応力は路盤 K 値には鈍感であるため、ここには路盤強化の効果はほとんど現れない。

また、横目地においてはそり応力の影響が小さいので、温度差半分の場合の F_d の値は横目地の方が大きくなる。したがってトンネル内の PCCP においては横目地が弱点となる可能性が高く、目地の構造を十分に検討しておく必要がある。

曲げ強度を 50kgf/cm^2 とすることによって F_d はかなり小さな値となり、すべての点において 1.0 を下回る。プレキャストコンクリート版がこの強度を持てば、通常の明り部でも 20 年の設計寿命は保証されることになる。したがって、PCCP においてはコンクリートの品質を強化することが必要である。事実、材料試験の結果によれば実際のプレキャストコンクリート版の曲げ強度はほぼ 50kgf/cm^2 というところであるから、工場製作という利点を最大限に活かすことによってこの曲げ強度を得ることは現実的であるといつてよい。

曲げ強度を 55kgf/cm^2 まで上げると、温度差が半分の場合の F_d の値は NCP のそれとほぼ同程度のオーダーとなり、この品質の PCCP はトンネル内道路に対する舗装として NCP と同等ということができよう。

表-6 PCCP の疲労解析結果 ($\sigma_a=55\text{kgf/cm}^2$)

温度差 破壊確率	通常 (低減なし)		半分 (0.5 に低減)	
	50 %	5 %	50 %	5 %
1	0.0007	0.0649	0.0000	0.0016
2	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000
3	0.0002	0.0226	0.0000	0.0006
4	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000
5	0.0000	0.0037	0.0000	0.0037
6	0.0000	0.0045	0.0000	0.0045

5. 段差解析

(1) 段差解析法

コンクリート標準示方書舗装編にコンクリート版のたわみから段差を推定する方法が示されている。本研究においてもこの方法を採用する。本研究で対象としているようなダウエルバーを有する場合の段差は次式によって計算できる。

$$FT = 2.53 \cdot EF^{0.25} \cdot \left\{ 0.038332 \left(\frac{PRE}{254} \right)^{1.84121} + 0.057763 (3.2808 JS)^{0.38274} \right\} \quad (5)$$

ここに、

$$\begin{aligned} FT &: \text{目地段差量 (mm)} \\ ER &= \sum \{ 100 \cdot n_i \cdot (C_2 / N_i) \} \\ C_2 &= 0.06 \\ n_i &: \text{軸荷重 } i \text{ のくり返し数} \\ N_i &= \text{軸荷重 } i \text{ に対する許容くり返し数} \\ \log N_i &= 14.524 - 6.777 (C_1 \cdot P - 9.0)^{0.103} \\ C_1 &= 1 - \left(\frac{187k}{h} \right)^2 \\ P &= 357481 \frac{w^2 k^{1.27}}{h} \\ w &: \text{軸荷重 } i \text{ によるたわみ (mm)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &: \text{路盤 K 値 (N/mm}^3\text{)} \\ h &: \text{コンクリート版厚 (mm)} \\ PRE &: \text{年間降水量 (mm)} \\ JS &: \text{平均目地間隔 (m)} \end{aligned}$$

である。

具体的な計算にあたっては疲労解析と同様に、車輪の走行位置分布を考慮するため、大型車後軸を自由縁部から 0.7m を中心に左右 0.3m ずらして作用させ、段差を計算する目地縁部の車輪走行位置 (5 と 6) のたわみを計算しておいた。ER は累積エロージョン係数と呼ばれ、疲労解析における F_d と同じ方法によって算定される。

この段差解析に必要なデータの中で、構造条件、材料条件については疲労解析と同様とした。その他、段差解析に特有なデータは年間降水量である。これは、我

表-7 段差解析結果 (mm)

舗装種別 降水量 (mm)	NC		PCCP	
	1500	700	1500	700
5	6.7	2.6	6.1	2.3
6	5.1	1.9	4.8	1.8

が国の平均値 1500mm と、トンネル内を想定してその約半分の 700mm とした。

(2) 解析結果

表-7 に段差解析によって推定された段差量をまとめた。推定された段差量は 2mm から、多くても 7mm 程度である。PCCP の方が版厚が薄いにもかかわらず段差量がやや小さいのは、路盤 K 値を高くしてあるためである。先にも見たように、路盤 K 値のたわみにおよぼす影響は 20kgf/cm^3 から 60kgf/cm^3 の範囲で非常に大きいので、段差を防ぐためには路盤強化がきわめて効果的である。PCCP のように舗装版が小さくたわみが大きくなる傾向のある場合には、路盤を強化することが必要といえよう。

また、降水量の影響は大きく、降水量が約半分になると推定される段差量は半分以下になる。このことから、トンネル内に湧水などがあって路盤内に多量の水が浸入するような場合には、段差量は非常に大きくなる可能性がある。

6. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下ようになる。

- (1) NCP と PCCP の力学的挙動を比較すると、版厚が薄い分だけ PCCP の方が応力は大きくなる。
- (2) 目地の構造としてはダウエルバーを多く配置した方が、目地縁部の応力やたわみは小さくなる。ただし、ダウエルバーの設置には特別な作業が必要であり、またダウエルバーの周辺から破損する例があるので、ダウエルバーを過剰に設置することは問題がある。
- (3) 疲労解析の結果、PCCP の曲げ強度を 55kgf/cm^2 以上にすることで、NCP と同等程度の寿命を持たせることが可能である。
- (4) 温度差が小さいトンネル内の場合には、PCCP の横目地が弱点になる可能性がある。
- (5) 段差解析の結果、路盤の強化を図ることで NCP と同等程度の段差にすることが可能である。

謝辞:本研究を遂行するにあたり、プレキャストコンクリート舗装協会のご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。また、本研究の一部は平成8、9年度文部省科学研究補助金（基盤研究(c)(2) 08650540:研究代表者 西澤辰男）によったことを付記する。

参考文献

- 1) Bull, J.W. : Designing Pre-Cast Concrete Pavements using Micro-Computers, *the Journal of the Institution of Highway and Transportation*, pp.21-24, 1986.
- 2) 運輸省港湾局監修: 港湾の施設の技術上の基準, 同解説, 下巻, 日本港湾協会, pp.280-281, 1989.
- 3) 吉兼亨, 鯉江利夫, 松下正美: 半プレキャスト版舗装工法, 第19回日本道路会議論文集, pp.430-431, 1991.
- 4) 権平靖生: リバーシブル型プレキャストRC版による舗装修繕, 舗装, Vol.25, No.11, pp.9-15, 1990.
- 5) 西澤辰男, 野田悦郎, 福田正: プレキャストコンクリート舗装の荷重応力に関する基礎的検討, 土木学会論文集, 第496号/V-24, pp. 81-88, 1994.
- 6) 西澤辰男, 松野三朗: コンクリート舗装の構造解析における有限要素法の適用性について, 土木学会論文報告集, 第338号, pp.207-236, 1983.
- 7) 西澤辰男: コンクリート舗装版横目地におけるスリッパバーの力学的モデル, 土木学会論文集, 第420号, pp.211-218, 1990.
- 8) 日本道路協会: セメントコンクリート舗装要綱, 丸善, 1992.
- 9) 西澤辰男: コンクリート舗装版の疲労ひびわれ評価システムに関する研究, 土木学会論文集, 第420号/V-13, pp. 163-172, 1990.
- 10) 西澤辰男, 野田悦郎, 福田正: プレキャストコンクリート舗装の温度応力に関する基礎的検討, 土木学会論文集, 第508号/V-26, pp. 101-107, 1995.
- 11) 土木学会: コンクリート標準示方書舗装編, 土木学会, 1996.

(1997.8.31 受付)

APPLICABILITY OF PRECAST CONCRETE PAVEMENTS WITH DOWELS TO TUNNEL ROAD

Tatsuo NISHIZAWA, Michiyuki TAMURA and Mitsutoshi KUMASAKA

Mechanical behavior of precast concrete pavement with dowel bars at joint was examined. The effects of subbase and dowel bars at joint were discussed. The thermal stresses were also calculated and discussed. Based on the results, fatigue and faulting analysis were conducted to compare the fatigue behavior and amount of faulting of precast concrete pavement slab with the normal concrete pavement slab. As the results, increasing the flexural strength of concrete and the K-value of subbase for PCCP was found to be required.