

車道部における板石舗装の強度実験と弾性解析

後藤 恵之輔* · 小沢 元彦**
飯田 恭祥*** · 持下 輝雄*Elastic Analysis and Strength Test of
Stone Pavement at Part of Traffic Way

by

Keinosuke GOTOH*, Motohiko OZAWA**,
Takayoshi IIDA***, and Teruo MOCHISITA*

In Nagasaki city they have made stone pavements to connect to each cultural institution since 1985. But a stone pavement don't have a reasonable design method, and made by engineers with his intuition. The damage of it comes into prominence recently as it becomes a matter, and we need a way of design which is established from engineering point of view.

This study is a preparing step to establish it, and aims to grasp the damage and fundamental mechanics of stone pavement. We practiced an elastic analysis, a strength test, and a investigation of the damage to grasp them. According to these we got a few result. At first the damage of stone pavement was caused by weathering and transformation at pavement section. Secondly stone pavement may be treated as a rigid pavement rather than as a flexible pavement. Lastly we need to study a quality of material and size of stone which is used for stone pavement.

1. はじめに

長崎市は人口約45万人、面積約240km²で、南北約4 km、東西約1 kmの細長い入り江が湾入し、古くから自然の良港である。しかし、臨海都市として恵まれてる反面、丘陵と山が海岸まで迫り、平坦地が乏しいなど地形上の制約もあって、近年、停滞基調が続いている。したがって、21世紀に向けて地域経済を活性化させ、市民が快適に生活し得る都市環境を整備充実し、「活力と魅力のある都市」として再生する道を切り開かねばならない時期を迎えている。

観光長崎のキャッチフレーズに、「百万ドルの夜景」、

「坂の長崎石畳」、「異国情緒」などと言われるように、長崎には歴史的にも文化的にも貴重な遺産が数多く蓄積されており、それらが長崎特有の国際性あふれる風土、景観を生み出している。

例えば、グラバー園や浦上天主堂のように、単体としては優れた施設が散在しているが、これらの体系的な環境づくりに欠けている点に問題がある。

かつては、名所旧跡に通ずる道には板石舗装が多く、長崎の代表的風物とされてきた。このような状況から、長崎市は、昭和60年度より観光客の多い通りを板石舗装に作り替える「まちづくり特別対策事業」に取り組

平成4年4月30日受理

*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

**大学院修士課程土木工学専攻 (Graduate School of Engineering Division of Civil Engineering)

***長崎市役所 (Nagasaki City Office)

んでいる。平成元年度までに総延長10,555m, 総面積308,550m²の板石舗装が敷設されている。

しかし、板石舗装には合理的な設計法がなく、技術者の勘に頼っているのが現状である。最近、その板石舗装のうち車道部での破損が目立ってきて、問題となっている。この現状を受けて、工学的な見地から確立した板石舗装の設計方法が必要となってきた。今年度の研究は、その準備段階として、板石舗装の特徴、破壊の現状、板石舗装の基本的な力学特性を把握することを目的としている。そこで本論では、破壊状況の現地調査、解析に必要な弾性係数を求めるために行った岩石の強度試験、板石舗装構造の弾性解析を行ったので、その報告を行う。

2. 板石舗装構造の特徴

板石舗装の大きな特徴は、第一に表層の材質に天然の岩石を用いていることにある。ここでは板石舗装に用いられる岩石の特徴を示した後、板石舗装構造の特徴を述べることにする。

2-1 板石舗装に用いられる岩石

現在、板石舗装構造の表層の板石には、砂岩、安山岩、花こう岩の三種類の岩石が用いられている。三種類の岩石について簡単に説明する。

a. 砂岩

現在板石舗装に最も多く用いられている岩石は、諫早産の砂岩である。砂岩は、堆積岩に分類される。堆積岩とは、既存の岩石の碎屑物、火山物質、生物の遺体等の沈殿によって形成される岩石であり、それぞれ碎屑岩、火山碎屑岩、化学性堆積岩および有機性堆積岩に大別される。砂岩はこの中の碎屑岩に分類される。諫早産の砂岩は砂質類の碎屑岩である。現在板石舗装に用いられている諫早産砂岩は、新生代第三紀の地層に含まれている。

b. 安山岩

安山岩は火成岩に分類される。火成岩は火成作用の違いによって、火山岩、深成岩、半深成岩の3つに大別され、安山岩はこの中の火山岩に分類される。我が国の火山を作っている最も主要な岩石である。輝石、角閃石、斜長石が含まれている。現在板石舗装に用いられている安山岩は、五島産安山岩である。

c. 花こう岩

花こう岩は火成岩に分類され、その内の深成岩に分類される。深成岩は主に、石英、斜長石、カリ長石、黒雲母、白雲母からなる典型的な御影石である。現在板石舗装に用いられている花こう岩は、中国産

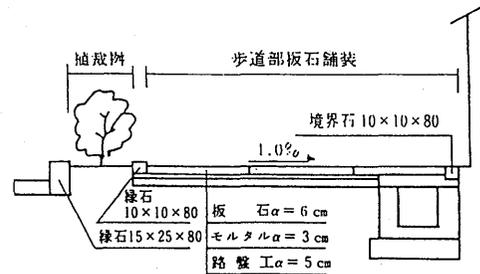
御影石と呼ばれる中国産の花こう岩である。

2-2 板石舗装構造の概要および特徴

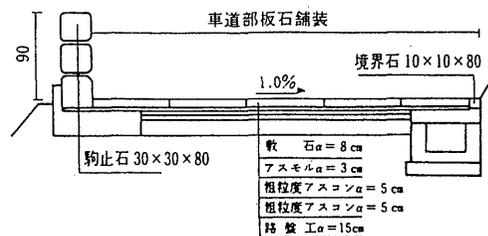
Fig. 1 に歩道部と車道部の板石構造断面の一例を示す。板石の大きさは60cm×30cmで、その厚さは、表層の岩石の種類に関係なく車道部で8cm, 歩道部で6cmに固定されている。表層のアスファルトモルタルおよびモルタルは表層の板石を固定する役目を果たしている。Fig. 1 (b)の車道部の構造断面では、上層路盤にアスファルト混合物が使用されているが、この層の材質は施工現場によって、粒調碎石などが用いられていることもある。

板石舗装の構造の大きな特徴として、次のことが挙げられる。まず一枚一枚の板石は、その岩石の曲げ強度で輪荷重を支える剛性舗装の性質を持っている。これに対して、一枚一枚の板石が集まった板石舗装は、たわみを許すたわみ性舗装の性質を持っていることにある。

すなわち板石舗装は、アスファルト舗装を代表とするたわみ性舗装の性質と、コンクリート舗装を代表とする剛性舗装の二つの性質を兼ね合わせて持つことになる。これは近年よく歩道部で見られる、シェアーブロック舗装構造の半剛性半たわみ性舗装の性質によく似ている。しかし、シェアーブロック舗装工法よりも、一つのブロックの大きさが大きいので、シェアー



(a)歩道部標準断面図 (単位 cm)



(b)車道部標準断面図 (単位 cm)

Fig. 1 Section of stone pavement.

ブロック舗装構造よりも、板石舗装構造の方が剛性舗装の性質が強いと考えることができる。

3. 破損状況の現地調査

現在の破壊、破損の状況を把握するため、特に板石の破損がひどい、1) 丸山公園一帯、2) 南山手一帯を選び調査を行った。

現場調査から、板石の破損は、次のように大きく二つに分けられる。

1) 風化に起因する破壊

この破壊は、主に表層板石の材質が砂岩であるものに多かった。破壊の過程は、まず車輪による摩擦が板石表面の風化を早め、Fig. 2 の様な磨耗を起こす。次に、その磨耗の拡大によって、断面が減少しヒビ割れを起こす。最終的にはズレ、板石の剥がれにつながっている。

2) 断面の沈下に伴う破壊

この破壊は舗装部の横に側溝を持つ場合に多く発生している。Fig. 3 の場合、ヒビ割れそのものは大型トラックの通行の際に起きたと考えられる。しかし、その原因は、以下の様な構造断面の変形に関係することが考えられる。

① 工事期間が1ヶ月余りと短いため、施工時の締め

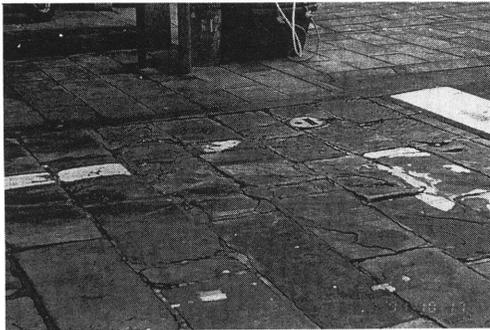


Fig. 2 Situation of weathered damage.



Fig. 3 Situation of settled damage.

固めの不十分さが原因となって沈下するため、舗装断面の支持力が低下する。

② ヒビ割れ位置が側溝付近にあることから、舗装断面が側溝側に流れてしまい、舗装断面の支持力が低下する。

4. 板石舗装の弾性解析

4-1 解析方法

今回の解析は、板石舗装の半剛性半たわみ性舗装という特徴のうち、たわみ性舗装という性質について行い、たわみ性舗装として板石舗装の応力・たわみ量の分布状況を調べた。解析の手順をFig. 4 に示す。解析断面はたわみ性舗装と言う性質に注目したことから、アスファルト舗装要綱を参考に決定した。また、解析に必要なパラメータの一つである岩石の弾性係数を、岩石曲げ試験によって求めた。

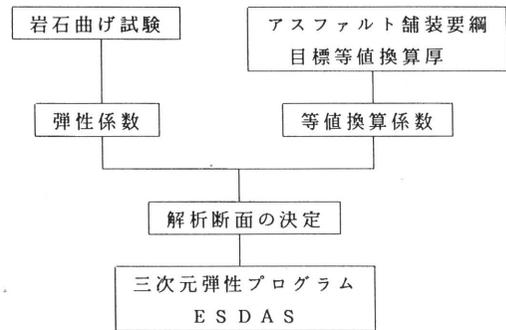


Fig. 4 Analysing process.

4-2 解析に用いたプログラム

解析には、ESDAS(三次元弾性プログラム)を用いた。ESDASとは、Elastic Stress and Deformation Analysing Systemの略である。このプログラムは三次元弾性理論による、多層体の理論解法を用いたもので、筆者の一人(後藤)が開発した。

4-3 多層体の理論解法

A. 計算仮定

舗装構造をFig. 5に示すような n 層弾性体と考え、円筒座標を図のように取る。計算に必要な仮定は次のとおりである。

- a. $(n-1)$ 層までの各層は有限な厚さで水平方向に無限に広がっており、最下層は鉛直および水平の両方向に無限に広がっているものとする。
- b. 各層とも材料は等方均質の弾性体とする。
- c. 各層の材料は重さのないものとし、最下層においては無限下方で応力と変位が消失する考え

る。

d. 各層の層間状態は完全に粗とする。

e. 輪荷重は円形等分布すると考える。

仮定 a より、道路の路肩より十分離れた輪荷重を対象としていることになる。また d は、極端な層間状態を想定しており、実際には滑らかな面も持っていると思われる。

B. 基本式

Fig. 5 より、第 i 層の基本微分方程式は次のように表される。

$$\nabla^4 \phi_i = 0 \quad (1)$$

ここに、

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

ϕ_i : 応力関数

また、応力および変位は、応力関数と次のような関係にある。

$$\sigma_z^i = \frac{\partial}{\partial z} \left[(2 - \nu_i) \nabla^2 \phi_i - \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial z^2} \right]$$

$$\sigma_r^i = \frac{\partial}{\partial r} \left[\nu_i \nabla^2 \phi_i - \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial r^2} \right] \quad (2)$$

$$\sigma_\theta^i = \frac{\partial}{\partial z} \left[\nu_i \nabla^2 \phi_i - \frac{1}{r} \frac{\partial \phi_i}{\partial r^2} \right]$$

$$\tau_{rz}^i = \frac{\partial}{\partial z} \left[(2 - \nu_i) \nabla^2 \phi_i - \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial z^2} \right]$$

$$u^i = \frac{1}{2 \mu_i} \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial r \partial z} \quad (3)$$

$$w^i = \frac{1}{2 \mu_i} \left[(2 - \nu_i) \nabla^2 \phi_i - \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial z^2} \right]$$

ここに、 $\sigma_z^i, \sigma_r^i, \sigma_\theta^i$: 直応力、

τ_{rz}^i : せん断応力、

u^i, w^i : r および z 方向の変位、

$\mu_i = E_i / 2(1 + \nu_i)$: せん断弾性係数

応力関数 ϕ_i は、上式を満足するように次式で仮定される。

$$\phi_i = J_0(mr) [(A_i + B_i z) e^{mz} + (C_i + D_i z) e^{-mz}] \quad (4)$$

ここに、 m : 無時限パラメーター、

$J_0(mr)$: 0 次の第一種 Bessel 関数、

A_i, B_i, C_i, D_i : 積分定数

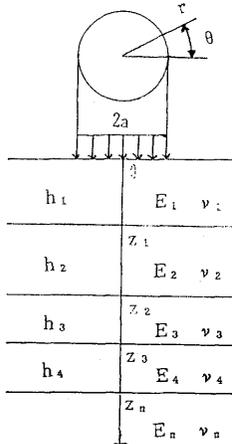


Fig. 5 N-layered elastic system.

このとき、応力および変位の一般式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma_z^i &= m^2 J_0(mr) [(1 - 2\nu_i) (B_i e^{mz} + D_i e^{-mz}) \\ &\quad - m \{ (A_i + B_i z) e^{mz} - (C_i + D_i z) e^{-mz} \}] \\ \sigma_r^i &= m^2 J_0(mr) [(1 + 2\nu_i) (B_i e^{mz} + D_i e^{-mz}) \\ &\quad + m \{ (A_i + B_i z) e^{mz} - (C_i + D_i z) e^{-mz} \}] \\ &\quad - mr^{-1} J_1(mr) [B_i e^{mz} + D_i e^{-mz} \\ &\quad + m \{ (A_i + B_i z) e^{mz} - (C_i + D_i z) e^{-mz} \}] \quad (5) \\ \sigma_\theta^i &= 2\nu_i m^2 J_0(mr) (B_i e^{mz} + D_i e^{-mz}) \\ &\quad + mr^{-1} J_1(mr) [B_i e^{mz} + D_i e^{-mz} \\ &\quad + m \{ (A_i + B_i z) e^{mz} - (C_i + D_i z) e^{-mz} \}] \\ \tau_{rz}^i &= m^2 J_1(mr) [2\nu_i (B_i e^{mz} - D_i e^{-mz}) \\ &\quad + m \{ (A_i + B_i z) e^{mz} + (C_i + D_i z) e^{-mz} \}] \\ 2\mu_i u^i &= m J_1(mr) [B_i e^{mz} + D_i e^{-mz} \\ &\quad + 2 \{ (A_i + B_i z) e^{mz} - (C_i + D_i z) e^{-mz} \}] \quad (6) \\ 2\mu_i w^i &= m J_0(mr) [2(1 - 2\nu_i) (B_i e^{mz} - D_i e^{-mz}) \\ &\quad - m \{ (A_i + B_i z) e^{mz} + (C_i + D_i z) e^{-mz} \}] \end{aligned}$$

ここに $J_1(mr)$: 一次の第一種 Bessel 関数

C. 境界条件

各層の境界面 ($z = z_i$) が完全に粗の場合には、次の境界条件が成立する。

$$\begin{aligned} \sigma_z^i &= \sigma_z^{i+1} & \tau_{rz}^i &= \tau_{rz}^{i+1} \\ u^i &= u^{i+1} & w^i &= w^{i+1} \end{aligned} \quad (7)$$

表面の境界条件として次式を与える。

$$\sigma_z^i = -m J_0(mr), \quad \tau_{rz}^i = 0 \quad (8)$$

D. 積分定数の決定

最下層においては z が無限の時、変形なしであるから、 $A_n, B_n = 0$ である。従って、式(5)、(6)を、式(7)、(8)の境界条件に代入して、 $(4n - 2)$ 元連立方程式を解くことにより全ての積分定数が決定される。

E. 応力および変位の決定

表面の境界条件式(8)において、第二式は成立するが、第一式は真の境界条件を表していない。従って真の値に換算しておく必要がある。円形領域に作用する等分布荷重は、Fourier-Bessel 展開を用いることにより次のように表現される。

$$\sigma_z^i = pa \int_0^\infty J_1(ma) J_0(mr) dm \quad (9)$$

ここに p : 円形等分布荷重強度 a : 載荷半径

従って、式(9)を(8)の第一式と比較し、式(8)の境界条件のもとに得られた応力と変位を記号*を用いて表せば、真の応力は、次式で決定されることになる。

$$\sigma_z^i = -pa \int_0^\infty \sigma_z^* \frac{J_1(ma)}{m} dm$$

$$\sigma_r^i = -pa \int_0^\infty \sigma_r^* \frac{J_1(ma)}{m} dm \tag{10}$$

$$\sigma_\theta^i = -pa \int_0^\infty \sigma_\theta^* \frac{J_1(ma)}{m} dm$$

$$\tau_{rz}^i = -pa \int_0^\infty \tau_{rz}^* \frac{J_1(ma)}{m} dm$$

$$u^i = -pa \int_0^\infty u^* \frac{J_1(ma)}{m} dm \tag{11}$$

$$w^i = -pa \int_0^\infty w^* \frac{J_1(ma)}{m} dm$$

式(10), (11)によれば, 無限積分を行なう必要があるが, ここでは $J_1(ma)$ の隣り合う零点ごとに区間を設け, 各区間に Gauss の16点法を適用して, 数値積分により解を求めた。収束判定の基準は, ある区間の積分による増分がその区間までの総積分値の 10^{-3} 以下となる時とした。この判定が満たされない時には, 最終2回分の答の平均値を持ってその場合の解とした。

4-3 岩石強度試験

板石舗装の解析を行う前に, 計算に必要な弾性係数を試験によって調べた。試験方法には, 用意できた供試体の形状より曲げ試験を選んだ。実験装置をFig. 6に示す。

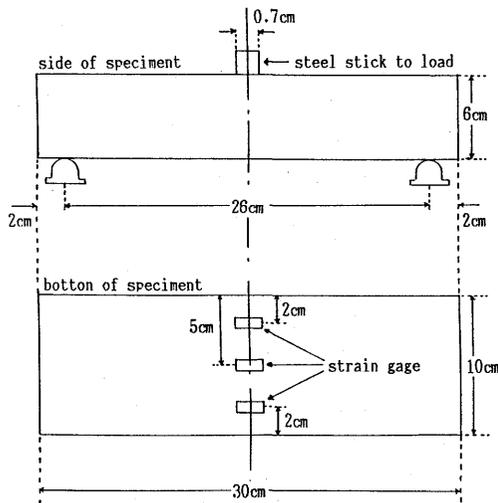


Fig. 6 Experiment device.

4-4 岩石曲げ試験の目的

- 1) 板石に用いられる岩石に曲げモーメントを加えて破壊し, その引張側に生ずる曲げ引張応力を求める。
- 2) 岩石の弾性係数を求める。

4-5 岩石曲げ試験の結果と考察

Table 1, 2は, 砂岩, 玄武岩のそれぞれの曲げ強度と弾性係数の計算結果を示したものである。

試験結果のように, 砂岩の弾性係数は非常にばらつきが多く, 低い値となっている。例えば浅貝砂岩の弾性係数は $1.23 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, 硬砂岩とよばれる五日市砂岩のそれは $6.2 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ と言われている。このように岩石の弾性係数は, その組織構成や固結度によって, 大きく変わってくる。試験に用いた諫早産砂岩は新生代第三紀の層に含まれ, 固結度の低い層の岩と考えられる。このため, 弾性係数も低い値に留まっているように思われる。

安産岩の弾性係数はNo. 2の結果を除いて, ほぼ一定の値がでている。神奈川県真鶴産安産岩の場合, 弾性係数は $2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ であり, 試験結果の弾性係数はそれに近い値となっている。このことから考えて, 試験結果は妥当な値となっているように思われる。

Table 1 Result of bending test(Case of sandstone).

	Span	Breaking load	Hight of breaking section	Width of breaking section	Bending streingth	Young's modulus
	(cm)	(kgf)	(cm)	(cm)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)
No.1	26.3	970	6.0	10.0	104.9	65900
No.2	26.3	920	6.0	10.0	100.9	79500
No.3	26.3	960	6.0	10.0	103.8	47400
No.4	26.3	860	6.0	10.0	93.0	56100

Table 2 Result of bending test(Case of andesite).

	Span	Breaking load	Hight of breaking section	Width of breaking section	Bending streingth	Young's modulus
	(cm)	(kgf)	(cm)	(cm)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)
No.1	26.2	1100	6.2	10.0	111.0	190000
No.2	26.2	1060	6.3	10.0	103.6	117000
No.3	26.2	1060	6.3	10.0	103.2	165000
No.4	26.1	1000	6.3	10.0	97.7	184000
No.5	26.2	1100	6.2	10.0	107.9	199000

4-6 解析断面の決定

板石舗装の半剛性半たわみ性舗装という特徴のうち, たわみ性舗装の性質について行うことから, 解析断面は, たわみ性舗装の代表であるアスファルト舗装を参考とし, 決定した。表層の材質と厚さは, 現在最もよく用いられている砂岩, 厚さ8 cmを想定した。路床 CBR を変えることにより, 5つのパターンを考

え、解析断面の路盤の厚さは、路床 CBR を満足させる厚さを目標等値換算厚さより求めた。ここで、交通荷重は L 交通荷重 $P=2tf$ (円形等分布荷重の接地半径： $a=12+P=14\text{cm}$, 円形等分布荷重強度は $q=3.25\text{kgf/cm}^2$) とした。解析に必要なパラメータの一つである岩石の弾性係数は、試験結果の平均値を用いた。解析断面を Fig. 7 に、路床 CBR に対する各路盤厚を Table 3 に、解析に用いた弾性係数を Table 4 に示す。

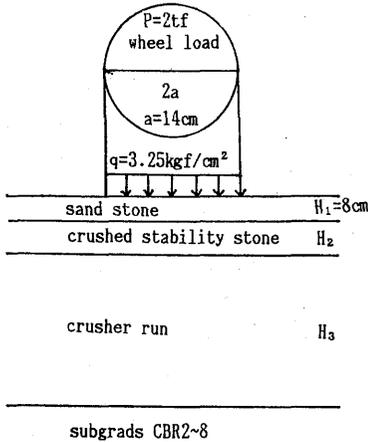


Fig. 7 Analysed section.

Table 3 Young's modulus used in analysis.

Surface course sand stone	Base course crushed stone	Subbase course crusher run
62000	3000	1000

(kgf/cm²)

Table 4 Thickness of base course and subbase course.

	PATARN 1 CBR 2	PATARN 2 CBR 3	PATARN 3 CBR 4	PATARN 4 CBR 6	PATARN 5 CBR 8
thickness of base course	20	15	15	10	10
thickness sub- base course	40	39	35	34	30

(cm)

4-7 解析結果

a. 垂直応力に関する解析結果と考察

円形等分布荷重中心直下での垂直応力と構造断面の関係を表 5 に、Fig. 8 に円形等分布荷重中心直下での垂直応力と表層表面から路床表面までの距離の関係を示す。

5 個のパターンを比較してみると、上層路盤表面で

は、PATARN 1 (CBR 2) の垂直応力が最も大きく、PATARN 5 (CBR 8) が最も小さくなっていることが分かる。路床表面では、逆に PATARN 5 (CBR 8) の垂直応力が最も大きく、PATARN 1 (CBR 2) が最も小さくなっている。表層表面から路床表面までの距離でいえば、26cm位の深さの位置で 5 つのパターンの垂直応力が同じ値を示している。Fig. 8 からアスファルト舗装要綱から想定した板石舗装の構造断面の垂直応力では、CBR が大きいほど垂直応力の分布の良いことが分かる。

Table 5 Normal stress on axis of uniform circular load.

	Bottom of surface course	Bottom of base course	Bottom of subbase course
PATARN 1	1.32	0.33	0.052
PATARN 2	1.25	0.42	0.080
PATARN 3	1.25	0.43	0.100
PATARN 4	1.15	0.56	0.150
PATARN 5	1.15	0.57	0.190

(kgf/cm²)

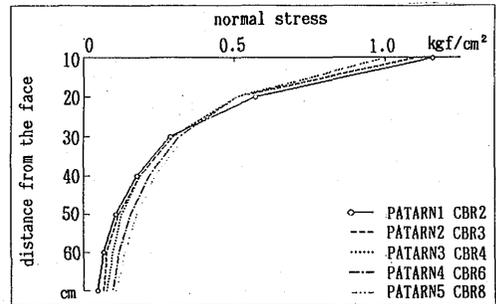


Fig. 8 Distribution of normal stress on axis of uniform circular load.

b. たわみ量に関する解析結果と考察

Table 6 に、円形等分布荷重中心直下でのたわみ量の解析結果を、Fig. 8 に等分布円形荷重の中心から水平方向に距離をおいた点での、表層下面のたわみ量の結果を示す。表層下面での各パターンのひずみ量の比較をしてみると、CBR が大きくなるにつれ、たわみ量は減少しているのが分かる。解析断面の PATARN 1 (CBR 2) と PATARN 5 (CBR 8) の場合では、0.17mmの差が確認できる。このたわみ量の差は、等分布円形荷重の中心から水平方向に100cm離れた点でも、ほぼ縮まることはなく、荷重中心から100cm以上離れた点からその差が縮まる傾向を見せている。

また全パターンを通じて、たわみ量の変化は、等分布円形荷重中心点から、半径14~30cmの間で急激な

減少を示した後、滑らかな減少を示している。その後等分布円形荷重中心点から200cm以上離れた点では、たわみ量がほとんど変化していないことが分かった。

Table 6 Displacement on axis of uniform circular load.

	Face of surface course	Bottom of surface course	Bottom of base course	Bottom of subbase course
PATARN 1	0.480	0.479	0.421	0.338
PATARN 2	0.427	0.426	0.379	0.282
PATARN 3	0.381	0.380	0.333	0.242
PATARN 4	0.346	0.344	0.310	0.201
PATARN 5	0.309	0.308	0.273	0.171

(mm)

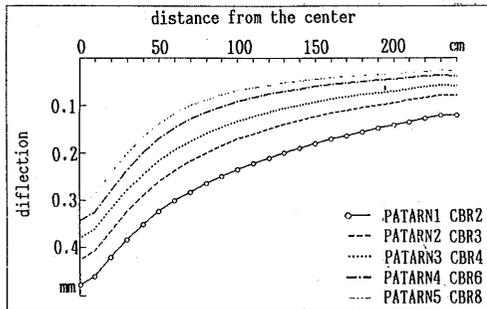


Fig. 8 Surface deflection vs. offset from center of uniform circular load.

以上の解析結果と、現状の板石舗装を考えた場合、第一の問題として、表層下面でのたわみ量が挙げられる。アスファルト舗装のように、表層厚を容易に変えられる材質では、表層下面におけるたわみ量を調節することも可能である。しかし、現状の板石舗装を考えた場合、敷設場所の路床 CBR によって板石の厚さを変えることは困難である。よって表層の板石厚が容易に変えることのできない板石舗装を考えた場合、路床 CBR が変化しても表層下面のたわみ量が一定となるような構造断面が望まれる。表層下面のたわみ量から考慮すれば、板石舗装はたわみ性舗装として扱うよりも、剛性舗装として扱う必要があるのではないかと考えられる。

第二の問題として、現在板石舗装に用いられている板石の大きさが挙げられる。現在使われている板石は寸法60cm×30cm×8cmである。輪荷重が板石の中央にある場合、荷重中心点のたわみ量と板石の先端のたわみ量の差が、一枚一枚の板石の実質のたわみ量となる。解析の結果を見ると、等分布円形荷重中心点から半径14~30cmの間で、急激な減少を起こしている。

この解析結果から考えると、板石の大きさを変えることによって（小さくすることによって）、一枚一枚の板石のたわみ量を小さくできることとなる。逆に言えば、現在の板石の大きさでは、構造上の欠点となる可能性がある様に思われる。

5. まとめ

板石舗装の破壊の原因を考えた場合、二つの原因が挙げられたが、今回の解析は構造断面のみに絞って、解析をしている。しかし、板石舗装の破壊には、岩石そのものの性質にも起因しているように思える。特に砂岩のように固結度の低い岩石は、車輪の摩擦によって風化速度が著しく早まり破壊につながっているということは、簡単に想像ができることである。今後、板石舗装の表層に用いる岩石の材質についても検討する必要がある。

解析の結果から、板石舗装をアスファルト舗装の様な「たわみ性舗装」としては扱いにくいことが分かった。今後、解析では一枚一枚の板石に注目して解析する、すなわち板石舗装の特徴のうち「剛性舗装」という性質について解析をする必要がある。現在用いられている板石を用いて、実物実験を行いたわみ量を求め、路床 CBR に対して、たわみ量が一定値よりも小さい値となるような舗装構造を発見していくことが大切になってくる。

また、一枚一枚の板石のたわみ量を小さくするため、板石の大きさについても研究を進める必要があるのではないかと考えられる。

6. おわりに

板石舗装に関する研究は、これまで前例が無く、これに関する資料も少ない。板石舗装は、異国文化が漂う長崎を代表する風物の一つであり、長崎が後世に残すべき宝である。これからも長崎が発祥の地となる板石舗装設計法の確立のため、研究を進めて行きたい。

最後に、本研究を進めるに当たり、貴重かつ適切な助言いただいた棚橋由彦助教授、岩谷道則氏（長崎市役所）並びに原口強氏（復建調査設計）、岩石曲げ試験の供試体を快く提供していただいた若竹弘氏（松山石材）には、末筆ながら深謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 長崎市土木部道路維持課：石畳のある歴史的街並みづくり, p.1., 1989. 9.
- 2) 山内豊聡・後藤恵之輔：サンドッチ式舗装構造の

応力と変形について, 九州大学工学集報, Vol.
49, No.6, pp.731~733, 1976. 10.