

# 論文 セメントアスファルト乳剤複合体の鋼床版舗装への適用

秋山憲二<sup>\*1</sup>・上田満<sup>\*2</sup>・浜田純夫<sup>\*3</sup>・斎藤治<sup>\*4</sup>

**要旨：**セメントとアスファルト乳剤及び骨材を混合したセメントアスファルト乳剤複合体は、常温・無転圧施工可能な材料である。この材料を鋼床版舗装に適用した場合に従来の舗装材との鋼床版下面でのたわみ等の比較を行った。また、スタッジベルを用いた供試体による不完全合成版のたわみの計算値と実験値の比較を行った。その結果、複合体は鋼床版舗装に有効であり、屋上駐車場の鋼床版舗装には、ずれ止めを用いることで舗装耐荷力増加、たわみの軽減となった。

**キーワード：**セメントアスファルト乳剤複合体、鋼床版舗装、ジベル、不完全合成

## 1. はじめに

鋼道路橋や歩道橋、ショッピングセンターの屋上駐車場及び立体駐車場の床版には、一般的に、鋼が使われている。また近年の橋梁技術の進歩とともに、長大橋が各所で、建設されるようになり、従来のコンクリート床版に変えて鋼床版が採用されることが多くなっている。さらに、現在の過密な車社会の中で駐車スペースの不足からショッピングセンターなどはその階上に駐車場を設けたり立体駐車場を設置したりしている。そして、それら鋼床版の舗装には、グースアスファルトやアスファルトコンクリートもしくはセメントコンクリートとアスファルトコンクリートの二層舗装が用いられている。しかし、アスファルト混合物は、高温施工であるため、舗装時の高温度が鋼床版に温度応力を発生させたり、転圧ローラーによる締め固めを必要とするのが現状である。また、ショッピングセンター屋上の舗装において、コンクリート舗装は、施工後に発生したクラックからの漏水、浸水した水が鋼を腐食させるなどの問題が起きている。そこで本研究は、常温・無転圧施工可能な舗装材、さらには、防水を目的とする薄層舗装材としての、セメントアスファルト乳剤複合体（以下ではセメアスと記す）を鋼床版上に施工した場合の力学特性について検討したものである。

表-1 配合表

## 2. 実験概要

### 2. 1 使用材料及び配合

セメントは、普通ポルトランドセメント（比重:3.15, 粉末度:3,600cm<sup>2</sup>/g）、アスファルト乳剤は、ノニオン系の混合用乳剤（ph. 5.6, 撥発残留分62%, 針入度168）、骨材には、碎石（比重:2.58, 粒径:0.6mm~5mm）、海砂（比重:2.60, 粒径:0.074mm~0.6mm）、フィラー（粒径:0.074mm以下）を使用した。各材料の配合は、碎石、海砂、アスファルト乳剤を、それぞれ重量百分率で、45%、20%、21%とし、残りのセメントとフィラーは、5~14%、9~0%とした。ま

材料	重量百分率(%)
碎石	45
海砂	20
乳剤	21
セメント	5~14
フィラー	9~0

\*1 山口大学大学院 工学研究科社会建設工学専攻 (正会員)

\*2 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (正会員)

\*3 山口大学教授 工学部社会建設工学科 Ph. D. (正会員)

\*4 日本舗道(株) 中国支社 (正会員)

た、使用した乳剤のアスファルト濃度は、6.2%であるが可使時間が短く打ち込み時にコンシスティンシー変化が速く施工性が悪い為、水を添加して5.5%の濃度に希釈して使用した。配合は表-1に示している。

## 2.2 複合体の曲げ強度試験

曲げ試験用供試体は、ホイールトラッキング試験用型枠に混合したセメアスを流し込み、硬化後、図-1の形状（切断箇所 a-a' b-b' c-c'）になるようカッターで切り出し作成した〔1〕。供試体の養生は28日間常温養生とし、載荷試験直前には、恒温槽にて、-10°C、0°C、10°C、20°Cの各温度で6時間以上養生した。載荷は、養生後の供試体を、載荷装置にセットし、載荷変位速度5.0mm/minでスパン(20cm)中央部に、1点載荷する方法にて実施した。なお、破壊荷重及び載荷点での変形量は、X-Yレコーダーで記録した。

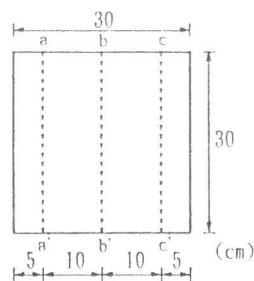


図-1 供試体切断方法

## 2.3 スタッドジベルの押し抜きせん断試験

スタッドジベル（以下ジベルと記す）の押し抜きせん断試験の供試体は、30×9×1.3cmの不等辺山形鋼の片面に、ボルトを4本溶接し、この山形鋼2枚で20×20×20cmのブロック状のコンクリートを挟むようにして作製した。また、コンクリート内には、補強筋を配置してい

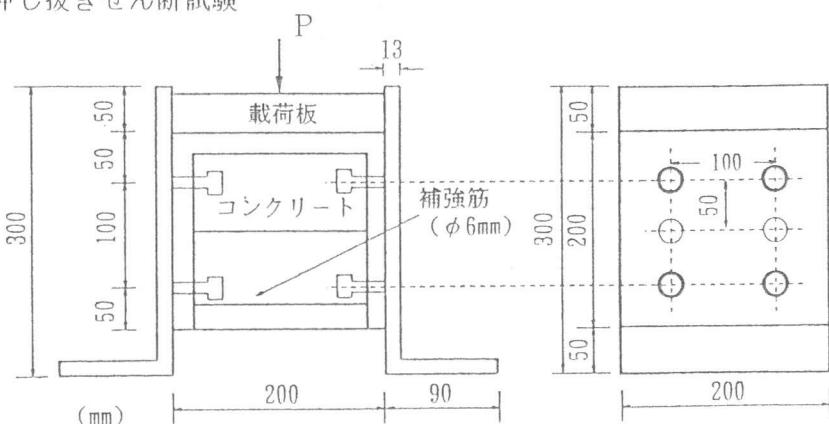


図-2 載荷方法及び供試体諸元

る。同様にして、片面にボルトを6本溶接した供試体も作製した。供試体の諸元を図-2に示す。載荷方法は、供試体を試験機に設置し、コンクリート上面に載荷板として20×20×5cmの鋼板を置きその上から荷重をかけた。載荷中の山形鋼とコンクリートのずれを最小読みが、1/100mのダイヤルゲージで1tおきに計測した。

## 2.4 静的載荷試験

12mm厚の鋼版に、1層(7.5cm)、2層(上層:3.5、下層:4.0cm)舗装を行い、舗装材の種類は、セメアス、密粒アスファルトコンクリート、グースアスファルト、（以下では、アスコン、グースと記す）

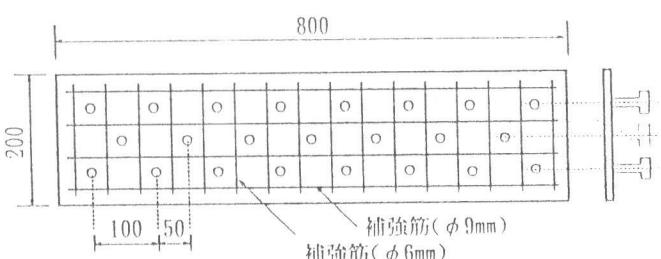


図-3 ジベル付き供試体

コンクリートの4種とした。載荷方法は、2点支持1点載荷、3点支持2点載荷とし、前者は、歩道橋上、屋上駐車場の舗装を想定したもので、5×20×5cmの鋼製角材を介して供試体が破壊するまで荷重をかけた（以下では1点集中荷重方式と記す）。また、この載荷方式でジベルを千鳥に溶接した鋼版（図-3）に、上層：セメアス、下層：コンクリートを舗装した供試体についての載荷も行った。3点支持2点載荷の方法は、供試体の強度確認のため、5×20×5cmの鋼製角材の2本の中心間を30cm離し、その中央を中央支点に一致させ、2本の鋼製角材を同時に押さえるようにして3tまで荷重をかけ（以下では2点集中荷重方式と記す）、その後、荷重を

除荷し、鋼製角材を $20 \times 20 \times 5$ cmの載荷板に変えて同様な載荷方法で10tまで荷重をかけた（以下では、T-25荷重方式とする）。この様な載荷方式にしたのは、鋼床版舗装にT-25後複輪荷重が縦リブを挟んで荷重がかかる場合が最も舗装体に負担がかかること、鋼床版舗装におけるひび割れは、ほとんどが縦リブ上で発生すること等を考慮した為である。舗装体、鋼版のひずみの測定位置及び鋼版のたわみ、鋼版と舗装体のズレの測定位置、載荷方法は、図-4に示す。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 セメントの曲げ強度試験

曲げ強度試験の結果が図-5及び図-6に示されている。図-5は、セメント量を10種類変えた各配合（図中、C5～C14）における曲げ強度と温度の関係を示し、図-6は同様に破断時のひずみと温度の関係を示すものである。曲げ強度は、温度が0℃以下ではセメント量による強度の変化は小さく、セメント量10%以上では、-10℃で30kgf/cm<sup>2</sup>前後の値をとっている。破断時のひずみは、セメント量の少ない配合の場合に温度によるばらつきが大きいが、セメント量10%以上の場合には、温度によるばらつきが小さくほぼ一定な値を示している。

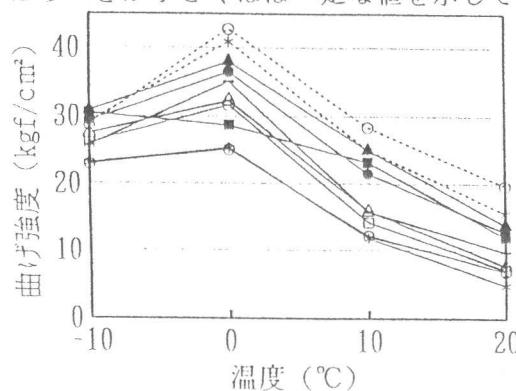


図-5 曲げ強度と温度の関係

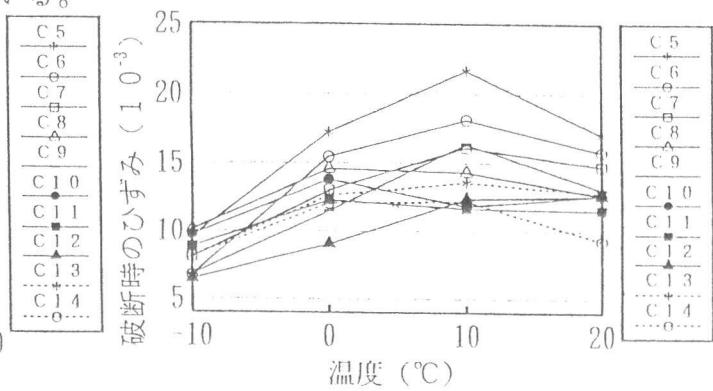


図-6 破断時のひずみと温度の関係

配合の決定を行う際に重要なのは、セメントの曲げ破断時のひずみと混合直後の流動性である。輪荷重を受ける鋼床版の最小曲率半径が20m以上と規定されていることから舗装体の曲げ破断時のひずみは安全性を考慮して $8 \times 10^{-3}$ 以上でなければならない。鋼床版の構造上、舗装体は流し込み施工が基本であり、それに必要なコンシスティンシー評価としてのリューエル流動性は、20秒以下となっている。実験に使用したセメントのリューエル流動性は、全ての配合を通じて10秒以下である。曲げ試験における破断時のひずみが、-10～20℃の各温度を通じて、基準値 $8 \times 10^{-3}$ を安定して超える配合は、セメント量10、11%である。本研究においては曲げ破断時のひずみが多少とも大きい、セメント量10%の配合のセメントを用いることにした。

#### 3.2 スタッドジベルの押し抜きせん断試験

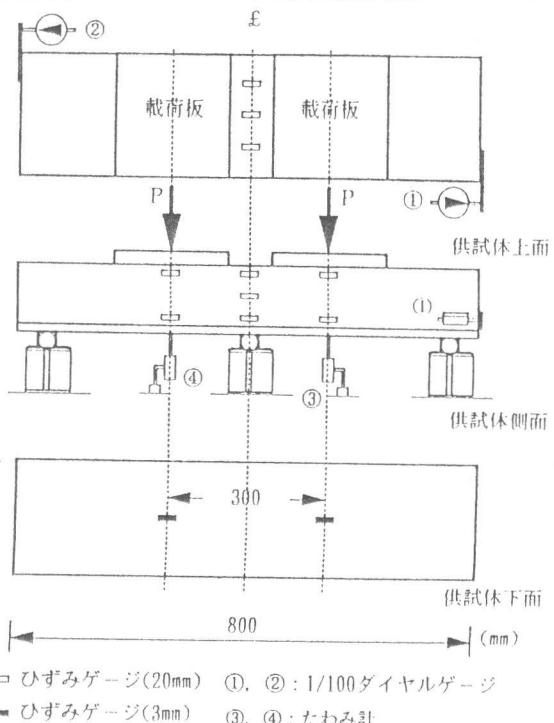


図-4 T-25荷重方式

押し抜きせん断試験より得られた荷重-ずれの関係を図-7に示す。同図において弾性領域の直線と荷重に対するずれの増加割合が大きい領域の直線との交点における荷重及び破壊荷重を各供試体のジベルの総本数で除し、前者の値をジベルの降伏せん断耐力とし、後者の値をジベルの終局せん断耐力とした。使用したコンクリートの材料試験結果及びジベルの諸元は表-2に示している。ジベルの降伏せん断耐力、終局せん断耐力及び下記の式より計算したジベル1本当たりの終局強度( $Q_u$ )を表-3に示している。式(2)は、平城ら[2]によるジベルの終局強度評価提案式である。本実験において得られたジベル1本当たりのせん断強度はこれら提案式より約1t小さい値を示している。これは、山形鋼とジベルの溶接状態や押し抜き試験を山形鋼とコンクリートが完全にせん断破壊する最終段階まで行っていないこと等が影響していると思われる。また、式(2)は、既往のジベルの押し抜き試験結果を整理し、それらデータの中央値を通る直線として求められていることから、本実験で得られたジベルの終局せん断強度は、それらのデータの下方に位置するものと思われる。

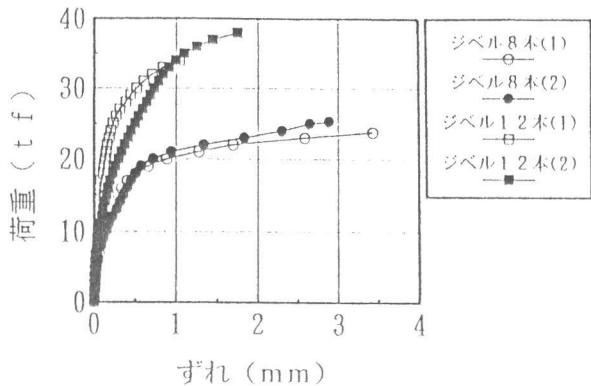


図-7 荷重(せん断力)とずれの関係

### AASHTOの式

$$Q_u = 0.4 \times d_s^2 \times \sqrt{f'_c} \times E_c \quad (1)$$

### 平城らの提案式

$$Q_u = 100 \times A_s \times \sqrt{(h_s/d_s) \times f'_c} + 1000 \quad (2)$$

但し、

$Q_u$  : ジベルの終局強度(kgf)

$d_s$  : ジベルの直径(cm)

$h_s$  : ジベルの全高(cm)

$A_s$  : ジベル軸部の断面積( $\text{cm}^2$ )

$f'_c$  : コンクリートの圧縮強度( $\text{kgf/cm}^2$ )

$E_c$  : コンクリートの弾性係数( $\text{kgf/cm}^2$ )

表-2 コンクリート材料試験結果

及びジベルの諸元

圧縮強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	430
ヤング率 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	$3.7 \times 10^5$
ジベル軸部の直径 (cm)	0.9
ジベルの全高 (cm)	4.6

表-3 ジベル1本当たりのせん断耐力

	ジベル8本	ジベル12本
ジベルの降伏せん断耐力 (kgf)	2437	2395
ジベルの終局せん断耐力 (kgf)	3069	3029
式(1)	式(2)	
ジベルの終局強度 (kgf)	4099	3982

荷重-ずれ関係のグラフは図-7に示したが、3.5の解析に用いるジベルの剛性は、図-8のジベル8, 12本の初期弾性域直線と降伏域直線の交点における荷重をずれ及びジベルの総本数で除し、それらの平均値とした。

### 3.3 1点集中載荷試験

1点集中荷重方式での載荷試験結果を図-9に示す。図-9は、1点集中荷重方式における載荷荷重と載荷点下面の鋼版のひずみを示している。下層：コンクリート、上層：セメアスの供試体は屋上駐車場、他の供試体は、歩道橋を対象としたものである。歩道橋の舗装を想定した供試体のひずみは、荷重の増加に伴いながらかな曲線を描いて増加する。歩道橋表面にかかる荷重は、1t以下であると考えられること、セメアス一層舗装の供試体の荷重-ひずみ曲線は、グースには劣るがアスコンとほぼ同ラインを描いている事より歩道橋の舗装に適用できると思われる。屋上駐車場舗装を対象とした舗装体の場合荷重3tまでは、荷重-ひずみ曲線がほぼ直線的であり、以後は荷重の増加に伴いひずみが急激に増加している。この舗装体にはジベルを用いていないため、3t付近にてコンクリートと鋼版の付着が切れたが、3.5の図-12に示すジベルを用いた供試体は8tまで付着は切れていない。実際の屋上駐車場の舗装には波型鋼版を用いているので付着は3t～8tの間の荷重では付着が切れるものと思われる。

### 3.4 2点載荷試験

2点集中荷重方式での載荷試験結果を、図-10に示している。図-10は、2点集中荷重方式の載荷荷重と載荷点下面鋼版のひずみの関係を示している。図よりセメアスを用いた供試体のひずみは、鋼床版舗装の標準構成である上層：アスコン、下層：グースの供試体と比較するとほぼ等しい値を示している。このことは図-11に示したT-25載荷方式の載荷試験結果からもうかがえる。

### 3.5 ジベル付き供試体の載荷試験

図-12は、ジベル付き供試体の1点集中載荷方式における載荷点下面のたわみと、式(3)より求めた計算値を示している。式(3)は、浜田らがNewmarkの不完全合成桁の解析方法を、単純ばかりに集中荷重を載荷した場合に適用して求めたたわみの式である[3]。本実験では、単純ばかりのスパン(70cm)中央での

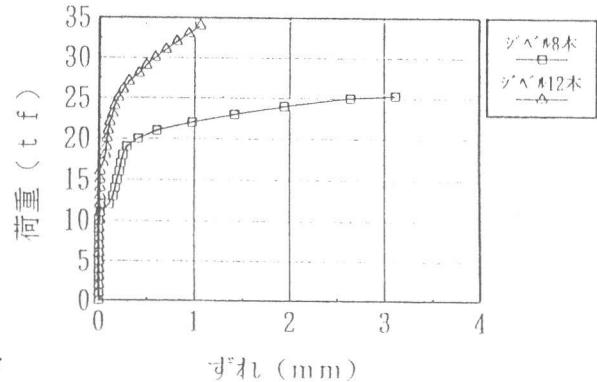


図-8 荷重(せん断力)とずれの関係

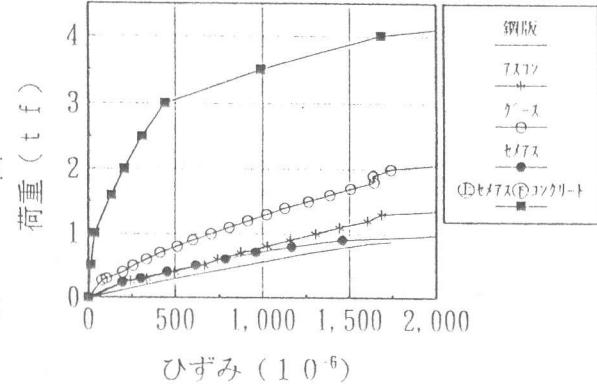


図-9 載荷点下面鋼版のひずみ

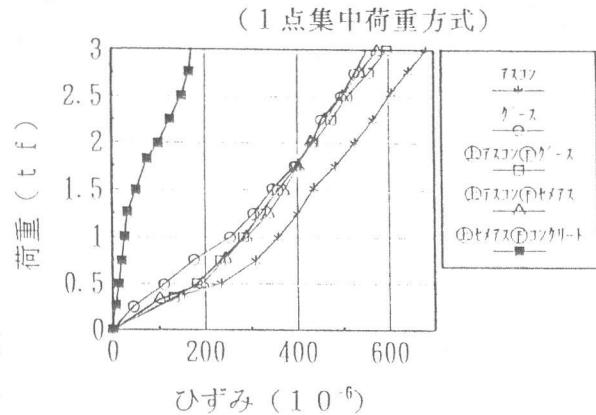


図-10 載荷点下面鋼版のひずみ

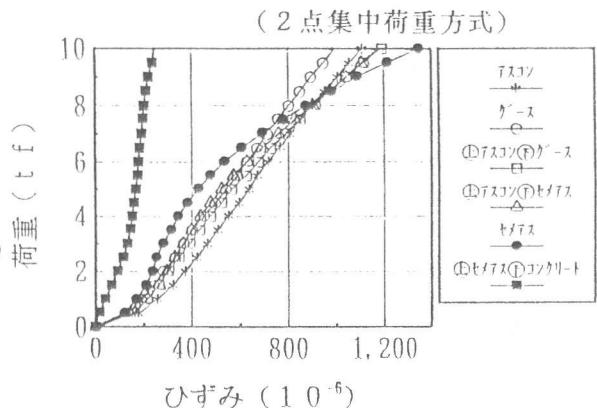


図-11 載荷点下面鋼版のひずみ

(T-25荷重方式)

たわみを計算した。式(3)の第一項  $\hat{y}$  は、載荷に用いた供試体を完全合成梁とした時のスパン中央でのたわみであり、図中ではこれを完全合成のたわみとして示している。第二項は、ジベルの弾性変位によるたわみの増分であり、ジベルの押し抜きせん断試験より求めたジベルの剛性を用いて算出したものである。それらの合計を不完全合成した時のたわみとして図に示している。

$$y = \hat{y} + \frac{s}{k} \frac{\overline{EA}}{\overline{EI}} z F \quad (3)$$

式中の  $\overline{EA}$ ,  $\overline{EI}$  は、 $\frac{1}{\overline{EA}} = \frac{1}{E_s A_s} + \frac{1}{E_c A_c}$ ,  $\overline{EI} = (E_s I_s + E_c I_c) + \overline{EA} z^2$  である。

但し、

$E_s$ ,  $E_c$ : 鋼、コンクリートの弾性係数

$I_s$ ,  $I_c$ : 鋼、コンクリートの断面二次モーメント

$A_s$ ,  $A_c$ : 鋼、コンクリートの断面積

$s$ : ジベルの間隔

$k$ : ジベルの剛性

$F$ : 軸力

$z$ : 鋼とスラブの重心間距離

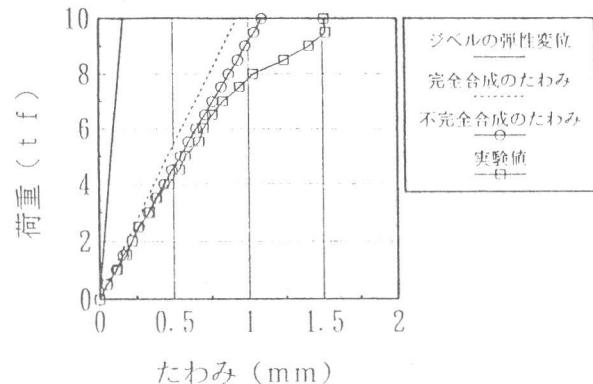


図-12より、実験値と計算値は、ジベルと鋼版の付着が切れ始める 8 tまではよく一致している。また、ジベルを用いる

事によって載荷点下面のたわみは極めて小さくなる。

#### 4.まとめ

本研究の結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) セメントアスファルトコンクリートは、防水保護を目的とする薄層舗装材として歩道橋、屋上駐車場等の舗装、鋼床版舗装に有効である。
- (2) 屋上駐車場の舗装構成において、鋼版に本研究にて用いたスタッドジベルを設けると耐荷荷重が 2 倍程度大となる。
- (3) 押し抜きせん断試験の結果スタッドジベル 1 本当たりのせん断強度は AASHTO の式、平城らによる推定値よりも小さい値を示した。
- (4) 式(3)によるたわみ推定値と実験値の整合性は良好であった。

#### 参考文献

- [1] 舗装試験法便覧、社団法人日本道路協会、1988
- [2] 平城・松井・福本：頭付きスタッドの強度評価式の誘導－静的強度評価式－構造工学論文集、Vol. 35A、pp. 1221-1232、1989. 3
- [3] 浜田純夫、宮里康則：不完全合成げた有限要素解析、琉球大学理工学部紀要工学篇、第11号、pp. 81~100、1976. 3