

# 格子パネルを用いた埋設ジョイントの ひずみ分散機能に関する基礎的検討

高橋 修<sup>1</sup>・丸山暉彦<sup>2</sup>・稲葉武男<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 長岡技術科学大学助手 建設系 (〒 940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 長岡技術科学大学教授 建設系 (〒 940-21 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

<sup>3</sup>ジャパンコンステック(株) (〒 222 神奈川県横浜市港北区鳥山町 729-4)

格子パネルを用いた埋設ジョイントには、ジョイント部に生じる伸縮変位を分散させる機能が見込まれており、そのためのスライド用シートや格子パネルが配備されている。伸縮変位の分散機能はこの種の埋設ジョイントで最も重要な要件であるが、機能の程度や基本的な特性を評価する検討がこれまで全く行われていなかった。本研究では、格子パネルを用いた埋設ジョイントが有する伸縮変位の分散機能を室内試験によって評価し、その基本的特性について検討した。その結果、スライド用シートに生じる摩擦の重要性が示唆され、伸縮変位の分散機能と摩擦の関係についても検討を加えた。そして、伸縮変位の分散機能には、格子パネルが重要な役割を果たしており、格子パネルを埋め込んだアスファルト舗装体の材料特性が深く関連していることを明らかにした。

*Key Words : buried joint, strain dispersion, debonding layer(sliding sheets), grid panel, honeycomb sell, asphalt mixture, deformation*

## 1. はじめに

道路橋のノージョイント化の推進によって伸縮装置に埋設ジョイントを採用するケースが多くなってきた。埋設ジョイントの適用は、ノージョイント化を実現するための有効な手法の一つである<sup>1)</sup>。埋設ジョイントの考え方は、橋梁の桁と桁のジョイント部においても橋面のアスファルト舗装を連続して舗設し、ジョイントを舗装の下に敷き込んでしまっ表面の連続化をはかったものである。ジョイント部に現れる桁の伸縮変位は、アスファルト混合物の有する柔軟性で対処しようとしている。つまり、実際には桁のジョイントは存在しているのであるが、連続した舗装体で埋設してしまっ、車両走行面にはジョイントが存在しないようにしているのである。したがって、埋設ジョイントの適用範囲はそのジョイント(アスファルト舗装体)がもつ伸縮性能で決まってしまうことになる。

埋設ジョイントには種々の型式のものがあ、一般的には、①伸縮誘導型、②伸縮吸収型、③伸縮分散型の3タイプに分類されている<sup>1)</sup>。著者らが研究、開発を進めている格子パネルを用いた型式のものは③のタイプに属しており、耐久性に優れ比較的長い桁長の橋梁にも適用できるメリットを有している。格子パネルを用いた埋設ジョイントに限らず、伸縮分散型に属する型式においては、桁の伸縮変位を舗装体に広範囲に分散させる機能(以下、ひずみ分散機能と称する)が最も重要であり、この機能の程度によって耐久性や適用性が

大きく左右されることになる。そのため、伸縮分散型では床版と舗装体の付着を緩和するための構造的、材料的な検討に重きが置かれていた<sup>2),3)</sup>。これまで、本型式の埋設ジョイントは、試験施工を繰り返すといった試行錯誤による経験主体の改善が施されてきており、重要なひずみ分散の機能やその他の基本的な特性については、具体的な実験および理論を伴った基礎的な検討が全く行われていなかった。これは、アスファルト混合物の力学特性を定量的に評価することが極めて難しく、具体的な評価方法も標準化されていないことに起因している。有効な工法としての安定した耐久性の確保やさらなる大型橋への適用をはかるためには、基本的特性を把握し合理的な設計方法を構築していく必要がある。

本研究は、最終的には格子パネルを用いた埋設ジョイントの合理的な設計法の構築を目指しており、その前段として、この型式の基本特性を把握し、現状の性能を評価することについて検討した。ここでは、本型式の埋設ジョイントにおいて最も重要な特徴であるひずみ分散機能に着目し、室内試験によってこの機能の評価した。ひずみ分散機能はスライド用シートと格子パネルによる構造面での改善によって現われるものであることから、それぞれの要素が有する効用を調べることに留意し、構造特性に重きをおいて検討した。そして、試験の結果から、これまで軽視してきたスライド用シート間における摩擦の重要性が示唆され、ひずみ分散機能に対する摩擦の影響についても考察を行った。

ひずみ分散機能と摩擦の関係については、埋設ジョイントを単純化した構造モデルを導入し具体的に定式化して検討を加えた。

## 2. 格子パネルを用いた埋設ジョイントの概要

格子パネルを用いた埋設ジョイントの構造は、図-1に示すような2層構造の舗装体である<sup>4),5)</sup>。基層用の混合物にはグースアスファルトの使用が推奨されているが、一般にグースアスファルトは入手するのが難しい状況下であり、使用できない場合は特殊配合の基層用混合物が使用されている。この混合物は、物性がグースアスファルトに近くなるように配合が調整されているもので、一般の基層用混合物よりも骨材の粒度分布が細かめでアスファルトの混入量が多い<sup>6)</sup>。一方、表層は通常の道路舗装の表層において一般的に用いられているアスファルト混合物であり、埋設ジョイント以外の一般部の表層と完全に連続している。

この型式には二つの特徴があり、その一つは、2枚のシートを床版と舗装体の境界に敷くことによって、両者が完全に分離されていることで、もう一つは、図-2に示すようなハニカムセル状の格子パネルが舗装体底部に埋め込まれていることである。2枚のシートには、本来ならジョイント遊間部に集中する伸縮変位を埋設ジョイント全体に分散させ、舗装体に生じるひずみの絶対量を小さく抑える機能が見込まれている。これは、床版と舗装体のある間隔をもって完全に分離し、境界ですべり面を形成させることによって、強制変位を埋設ジョイント全体で受け持たせようとするもので、2枚のシートの接合面は滑らかにすべるような処理が施されている。シートによって床版と舗装体が分離されている部分(以下、スライド区間と称する)の長さは、桁の伸縮変位の大きさに応じて設定されている。しかしながら、実際に見込みどおりに変形が分散されているのか否かや、その程度については不明確な部分が多く、また、スライド区間長の設定はこれまでの経験によって決定がなされている。

また、舗装体底部の格子パネルには、アスファルト混合物の流動を抑制する効果が確認されており<sup>7),8)</sup>、この他にシートを含めた舗装体の浮き上がり防止や埋設ジョイント全体(アスファルト混合物)の補強等の機能が見込まれている。この格子パネルは、厚さ0.8mmの帯状の鉄板を折り曲げることによって図-2のようなハニカムセル状に形作ったもので、混合物となじむようにセル壁面にはいくつかの穴が設けてある。鉄板の板厚やセル一つ当たりの大きさなども経験に基づいて決められたもので、ひずみ分散機能における格子パネルの具体的な効用についても明確ではない。

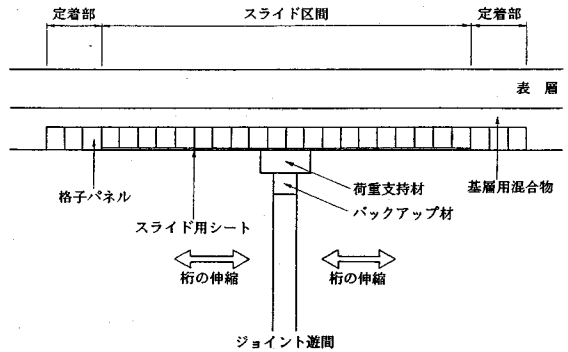


図-1 格子パネルを用いた埋設ジョイントの概要

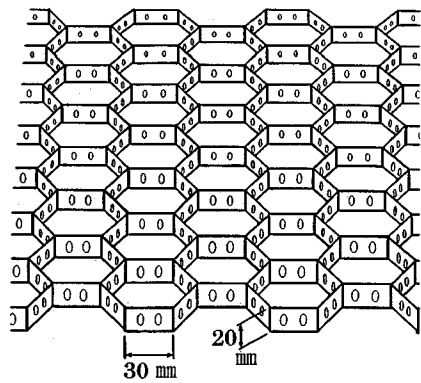


図-2 格子パネルの形状および寸法

このように、格子パネルを用いた埋設ジョイントは、伸縮分散型の埋設ジョイントとしては他の型式に比べて合理的な構造であるが、その特徴とされている変形の分散性能については、これまでほとんど検討されることなく実用に供されてきた。

## 3. 本研究で対象とした変形作用

本題に入る前に、本研究で検討の対象としている変形作用について明記しておくことにする。埋設ジョイントには、橋梁の伸縮装置としての外力がいくつか作用する。これらは主に種々の要因から桁端部に変位が生じることによるもので、埋設ジョイントに対しては強制的な変形作用ということになる。主要なものについてまとめると表-1のように表すことができる<sup>4),5)</sup>。このことについて Brown ら<sup>9)</sup>は多くの現場の状況を調査し、埋設ジョイントに作用する主要な強制変位をシミュレートする装置を開発して、室内試験によって種々の外力の評価を行った。その結果、長い周期で変位量の大きい水平方向変位が最も大きなダメージを引き起こすことを明らかにしたが、一年もの長い時間について

表-1 埋設ジョイントが受ける変形作用

作用方向	変位の要因	変位量	作用時間
水平方向	温度変化	大	一年周期
水平方向	温度変化	小~中	一日周期
水平方向	車両走行	微	短い
垂直方向	車両走行	微	短い
回転方向	車両走行	微	短い

は考慮していない。

本研究で問題としているひずみ分散機能は、水平方向の作用で変位量が比較的大きい温度変化に起因するものを対象としている。特に、スライド区間の長さは最も変位量が大い一年周期のものに基づいて決められている。したがって、本来ならば一年周期の変形作用に対しても検討する必要があるが、以下の理由で考慮しなかった。一年というのあまりにも時間が長すぎてひずみ分散機能の評価には無理があること、基本的特性は時間スケールを短縮した加速試験においてもある程度検討が可能であること、そして、時間が短くて変形量が小さいものに対してひずみ分散機能が現われていれば、長い周期はその積み重ねであることから、長周期においてもひずみ分散機能は発現されるはずと考えたことによる。このような観点から、本研究では主要な外力作用を温度変化によってジョイント部に現れる一日あたりの強制変位と考え、この変形作用に対するひずみ分散機能を評価し、検討していくことにした。さらに、埋設ジョイントの破壊形態で多く見られるのが横断クラックの発生とその成長であることから、特に引張作用に重点を置いて論を進めた。

#### 4. ひずみ分散機能を評価する室内試験

ひずみ分散機能を評価するために実施した試験は、強制変位を周期的に作用させて埋設ジョイントに引張と圧縮を繰り返し与える伸縮試験と、一定の変位速度で舗装体を引き伸ばす単純引張試験である。これらの外力に対する舗装体の応答を測定して、ひずみ分散機能の特性を検討した。

##### (1) 試験方法

伸縮試験は、図-3に示すような一端が固定で他端がベアリングによってスムーズに滑動する鋼製の台座に埋設ジョイント供試体を設置し、油圧アクチュエータで水平方向の変位を与えて行った。強制変位は、実橋での測定結果<sup>10),11)</sup>に基づいて正弦波で与えた。格子パネルを用いた埋設ジョイントの供試体は図-4に示す形状

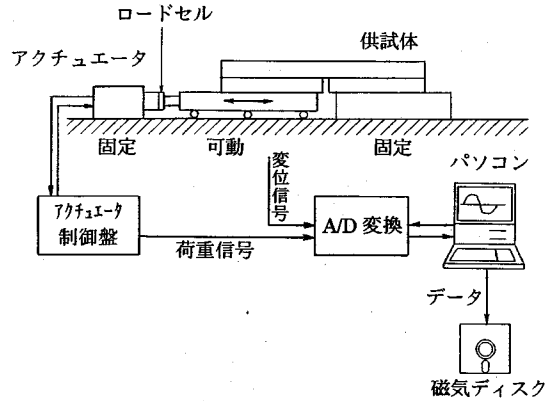


図-3 伸縮試験の方法

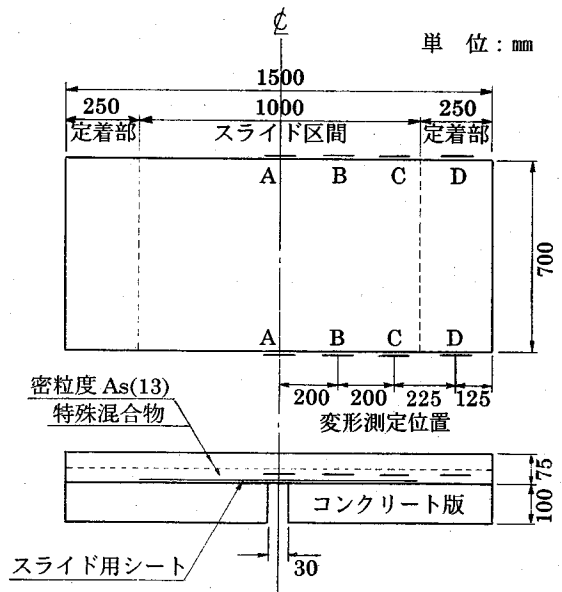


図-4 供試体と変形測定位置

寸法で、使用材料はすべて現場で使用しているものと同じである。シートを配置したスライド区間の長さは1m (1000mm)とし、その両側に定着部を250mm設けた。定着部における舗装体とコンクリート版の定着はゴム系のアスファルト乳剤で行い、格子パネルはアンカーボルトを用いて堅固に固定した。表層に使用した混合物は密粒度アスファルト(13)で、基層については本型式で通常用いられている特殊配合の混合物である。格子パネルやスライド用シート、およびプライムコートの乳剤についても、実際と同じものを実際と同じ方法で施工した。そして、この供試体を橋梁の床版に相当するコンクリート版に実際とほぼ同じ条件で設置した。コンクリート版の中央には橋梁ジョイント部の遊

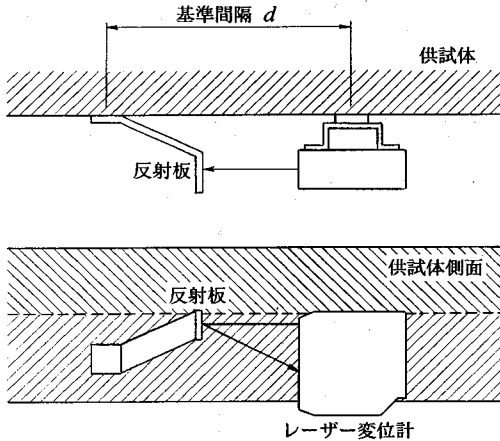


図-5 変形の測定方法

間に相当する幅 30mm のスリットが設けてあり、固定する版と移動させる版とで完全に分離されている。この供試体は埋設ジョイントの縮尺相似モデルではなく、桁伸縮の小さい小規模の橋を想定した実際と同じレプリカモデルである。

コンクリート版を双方の台座にそれぞれ堅固に固定し、図中の英字 (A, B, C, D) で示した位置に精密変位計を配置して伸縮時の変形を測定した。精密変位計は図-5に示すようなレーザー変位計で、試験前の基準間隔  $d$  (約 100mm) の変化量  $\Delta d$  をモニターしてその位置のひずみ ( $\Delta d/d$ ) とした。伸縮変位によって供試体に作用する荷重は、アクチュエータの先端に取り付けたロードセルで検出した。測定データは全て A/D 変換を施してパソコンに集め、磁気ディスクに記録した。本試験は、ある一定の温度条件で実施する必要があるため台座ごと恒温箱で覆い、温度コントローラのついた熱風機を配備して温度管理に努めた。供試体を恒温箱の中で十分に養生し、舗装体に埋め込んだ熱電対の出力値が一定であることを確認してから試験を開始した。

単純引張試験については、伸縮試験で使用した装置および供試体をそのまま流用し、伸縮試験の終了後、強制変位のみを一定速度の引張のものと変えて、引続きそのまま実施した。

## (2) 試験条件

実際の伸縮試験において、使用した供試体の種類と試験温度、および与えた変位の振幅を表-2に示す。この試験で明らかにすべきことは、変形の分散機能を実際に確認し、その機能の程度および基本的な特性を把握することである。さらに、本型式の埋設ジョイントで不可欠な要素である、スライド用シートと格子パネルの個々の効果も評価したかった。そのため、供試体の種

表-2 伸縮試験の条件

条件番号	供試体の種類	試験温度 (°C)	変位振幅* (mm)
No.1	スライド用シートと格子パネルあり	10	± 2,3,5,7,9
No.2		20	± 2,3,5,7,9
No.3		37	± 2,3,5,7,9
No.4	スライド用シートのみあり	10	± 2,3,5,7,9
No.5		16	± 2,3,5,7,9
No.6		35	± 2,3,5,7,9
No.7	混合物 単体	20	途中で破壊

\* 変位振幅はゼロピークの値である。

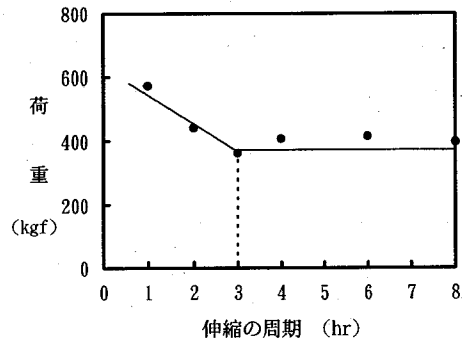


図-6 変位の周期と荷重の関係

類としては、スライド用シートと格子パネルが配置してある本型式の本来のものと、比較のためのスライド用シートのみを配置したもの、スライド用シートも格子パネルもない混合物単体のものの3種類とした。しかしながら、アスファルト混合物単体のものは、試験中すぐに破壊してしまい、まとまったデータを得ることができなかった。試験温度は少なくとも、低温、常温、高温の3水準とりたいかったのであるが、クーリング装置を配備できず、また熱風機の能力が十分でなかったことから、広い範囲で変化させることができなかった。設定温度は 10°C、20°C、40°C としたのであるが、実際に測定された試験温度は表中の値であった。与えた伸縮変位の周期は実際では 24 時間であるが、予備実験の結果と試験の効率を考慮して 3 時間と設定した。この予備実験とは、本試験と同じ試験装置を用いて、周期を 24 時間から徐々に縮めていったときのロードセルにかかる荷重を測定したものである。この結果は図-6に示すとおりである。

単純引張試験は、表-2の3種類の供試体について変位速度 3mm/hr、試験温度 20°C の条件で実施した。ただし、スライド用シートと格子パネルのない混合物単体の供試体は、厚さ 75mm のものが破壊してしまった

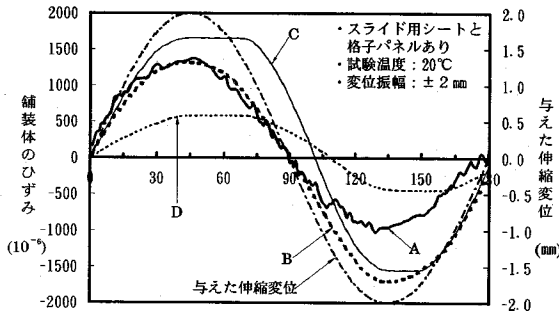


図-7 各測定位置のひずみの変化

ので、厚さ 100mm のものを使用した。

### (3) 試験結果および考察

伸縮試験の結果の一例として、表-2に示したNo.2の試験条件で、与えた変位の振幅が±2mmの場合の、それぞれの測定位置におけるひずみの変化について図-7に示す。ひずみの測定は供試体の両側面で行っており、縦軸のひずみ値はこれらを平均したものである。アクチュエータの制約から、引張から始まって圧縮に続くといった伸縮作用であった。したがって、図-7の縦軸の正の値は引張、負の値は圧縮を示すことになる。スライド区間内であるA、B、Cの位置においてはひずみの大きさがほぼ等しく、本型式の特長であるひずみ分散の機能が有効に発現している様子がうかがえる。定着区間における固定の方法が、アスファルト乳剤の塗布とアンカーボルトによる格子パネルのスポット的な固定であったため、Dの位置においても変形が多少生じている。また、本試験では格子パネルの有無にかかわらず、測定位置によって変形に多少の位相差が認められた。これは、アスファルト混合物が粘弾性材料で、本来24時間周期の伸縮作用を3時間に短縮したことによるものである。周期が24時間といった非常にゆっくりとした伸縮作用の場合には、位置による変形の位相差は確認されなかった。

ここで、ひずみ分散機能の程度を評価するために、Clauwaertが定義したstress concentration factor<sup>12)</sup>にならって、以下に示すひずみ集中係数 $C_s$ （著者らが新たに定義したもので、一般化されているものではない）を導入する。

$$C_s = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{\Delta d/d}{\Delta L/L} \quad (1)$$

ここに、 $d$ ：ひずみ測定時の基準間隔

$\Delta d$ ：基準間隔の変化量

$L$ ：供試体のスライド区間の長さ

$\Delta L$ ：与えた変位量

分子の $\varepsilon_2$ は伸縮試験中に測定されるアスファルト舗装

体のレスポンスとしての変形量であり、分母の $\varepsilon_1$ は与えられた変位がスライド区間の全体で均等に分散された場合の理想的な変形量を示す。したがって、 $C_s$ がどの位置においても等しくて、値が1.0に近いほど、変形が良好に分散されていることになる。引張、圧縮のそれぞれの場合、各測定位置におけるひずみのピーク値について、ひずみ集中係数を求めてみると図-8のようになる。図中には変位振幅±2mmのほか、±5mmと±9mmの結果についても示してあり、b)が図-7の結果に対応している。上段がスライド用シートと格子パネルを共に配備した場合のもので、下段がスライド用シートのみを配備した場合の結果である。それぞれ表-2で示した条件番号のNo.1~No.6に対応している。格子パネルを配備した場合は、与えた変位のレベルや試験温度の違いにかかわらず、ひずみ集中係数がどの位置においてもほぼ等しく、変形が供試体のスライド区間全域に概ね均等に発生していることがわかる。本試験で用いた小規模の供試体においては、かなり安定したひずみ分散機能が現れていることが確認できる。これに対して、格子パネルを有していないスライド用シートのみの場合、与えた変位のレベルが小さく、また温度が高くなるほど、中央部で変形が大きく端部に近いところで変形が小さいといった傾向にある。スライド用のシートが配備されていても、ジョイント遊間部で変形が集中しているということは、スライド区間の端部に近いところではシート間のすべりに抵抗しようとする作用がはたらいっていることになる。すべりに抵抗する作用は摩擦ということになるが、格子パネルを用いた供試体においてもほとんど同様に作用するはずである。図-8の上段と下段の違いは、単に格子パネルの有無であることから、格子パネルには伸縮作用に対してアスファルト混合物の剛性を向上させ、摩擦による影響を軽減させる効果があることが示唆される。温度が高くなるとアスファルト混合物のスティフネスが低下して柔軟性は大きくなるが、スライド区間の舗装体全体に応力を伝達する能力は小さくなる。そして、摩擦力は舗装体内の応力の伝達を阻害するように作用するはずである。このような舗装体の材料特性に起因する応力の伝達性能と摩擦による力学的条件から、変形の集中や集中の度合いに差がみられるものと考えられる。シート間の摩擦の存在とこれを含めた構造特性については、次の章で詳しく考察していくことにする。

本試験では供試体の大きさが小規模で、試験条件もある程度限られたものであったため、格子パネルを配備した供試体ではひずみ分散機能がかかなり良好に現われたものと予想される。スライド区間が数mに及ぶ実際の場合では、ひずみ分散機能はこの試験結果ほど良好に現われず、温度変化や変位レベルの違いに対する

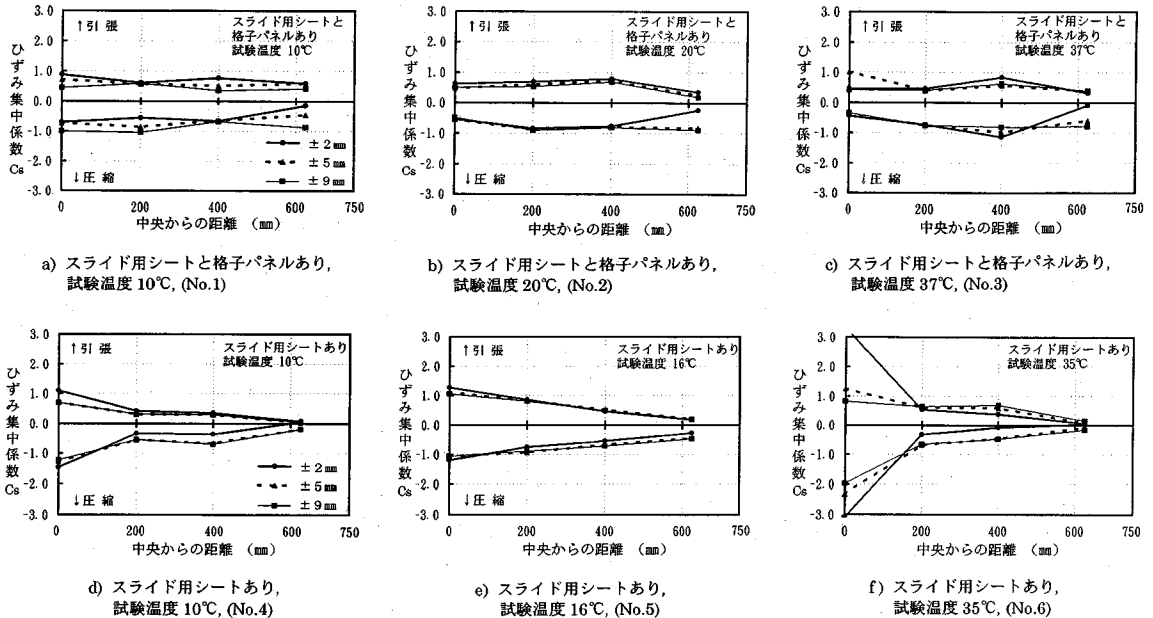


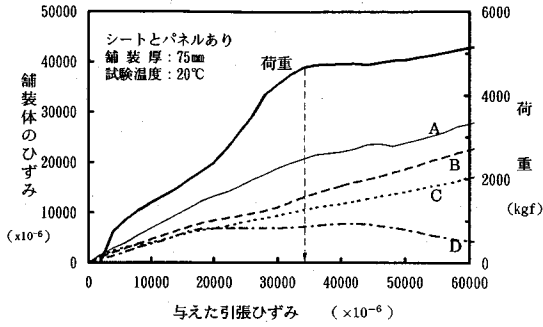
図-8 ひずみ集中係数の違い

特性はむしろ格子パネルがない場合の結果に近いのではないかと考えられる。

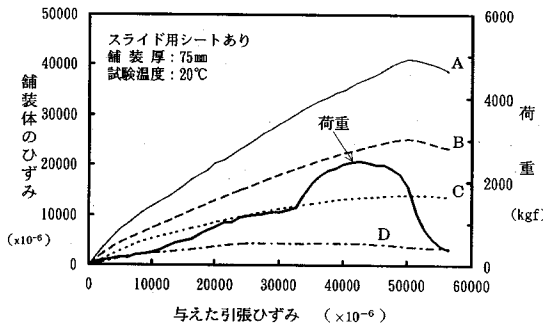
単純引張試験の結果は、図-9に示すとおりで、供試体それぞれの構造面の特徴がよく顕れている。横軸の「与えた引張ひずみ」とは、与えた引張変位をスライド区間の長さで除したもので、ここでも舗装体の変形の様子に注目するために図-4で示したA~Dの位置のひずみについてまとめた。また、荷重の変化についても同じ図に重ねてある。図-9 a)の格子パネルが配備されている場合は、舗装体に多少のクラックが発生しても荷重は低下することなく、引張に抵抗している。さらにこの際においても、舗装体の変形はスライド区間全体に生じており、また試験終了後の供試体に微細なクラックがスライド区間に数多く認められ、与えた変形が分散されている様子が確認された。荷重が低下しないだけでなく変形が分散されているということは、アスファルト混合物にクラックが生じても格子パネルがこれらをつなぎ止めて、構造体としては完全に破壊していないということになる。このことから、格子パネルは構造的に有用な要素であることが認められる。与えた引張ひずみに対する荷重についての曲線で、傾きが変化している付近を舗装体の破壊と考え、この条件においては与えた変形が約 34000 マイクロで破壊したことになる。実際には先に述べたように定着部の固定方法が不十分であったことから、舗装体のひずみが最も大きいA点のこのときのひずみ値である約 20000 マ

イクロが破壊ひずみと考えられる。図-9 b)のスライド用シートのみがある場合は、与えた変形量が約 45000 マイクロで荷重が急に低下しているが、これは破壊によるものではなく、この時点で舗装体とコンクリート版の定着部がすべりだしたことによるものである。試験後の供試体には多くの細かいクラックが発生しており、定着部がすべる以前にも破壊がかなり進んでいたものと考えられる。ひずみ分散はいくらか認められるが、やはり中央部で変形が大きくなっている。プレーンの供試体である図-9 c)では、実際にはスライド区間は存在していないが、便宜的にあるものとして同じ横軸で結果を整理した。この場合は、与えた変形は分散されることなく、小さな変形作用(引張変位)で破壊に至っている。破壊時の供試体は、中央の遊間部に大きなクラックが入って完全に分断されていた。ここで注目したいのは荷重とひずみの関係で、図-9の a)と b)を比較することにより格子パネルの補強効果を確認することができる。この結果では、見かけ上の変形係数は単純にグラフの傾きから約 3 倍ほど向上していることになる。

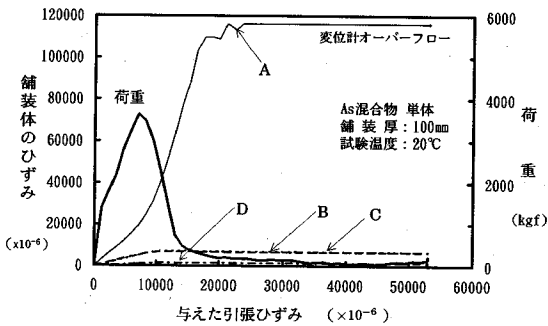
以上の試験結果から、格子パネルは、強制変位による応力をスライド区間全体に伝達し、変形を分散させる効果を有していることが判明する。格子パネルの両端はコンクリートスラブにアンカーボルトで固定されているので、強制変位は格子パネルと定着部の混合物に直接作用することになり、底部の格子パネルとアス



a) スライド用シートと格子パネルがある場合



b) スライド用シートのみがある場合



c) 混合物 単体の場合

図-9 単純引張試験の結果

ファルト混合物の複合体が応力を伝達する一種のバネのような役割を果たしているものと考えられる。そもそも、変形を分散させる効果は格子パネルが有する効用であって、スライド用シートはその分散機能が効率よく発揮されるようにすべり抵抗を少なくする役目のものととらえた方がよい。現在、伸縮分散型の埋設ジョイントでは、床版と舗装体とのせん断層<sup>1)</sup>の存在が特徴とされているが、せん断層のみでは変形の分散効果は不十分であると考えられる。実際の現場では、スラ

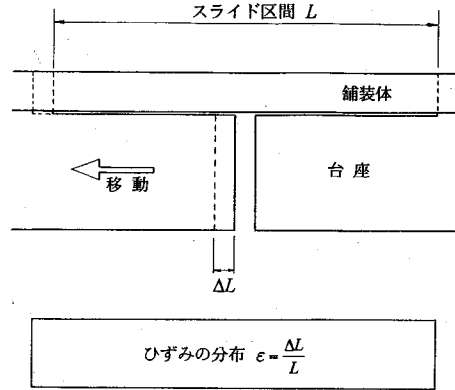


図-10 摩擦が生じない場合の変形

イド区間が長く、舗装体温度も広範囲に変動することから、格子パネルのような荷重伝達を補う部材が重要といえる。ひずみ分散の機能は、スライド用シートと格子パネルの二つの要素が存在してはじめて効果的に現われるもので、どちらが欠如しても有効に得ることができないのである。

## 5. 格子パネル型埋設ジョイントの構造特性

本章では、前章の試験結果からの考察をより具体的に理解するために、簡単な構造モデルと数式を導入してさらに検討を加える。特に、伸縮試験によって示唆されたスライド用シート間に生じる摩擦の影響と、これに対する格子パネルの効果について詳しく考察していく。そして、これらを通して、本型式の埋設ジョイントの構造特性について考えてみる。

ここでは、舗装体と摩擦力をかなり大胆に単純化しているため、前章の試験結果や実際の現場の状況と合致しない部分もみられるが、摩擦力と舗装体の変形係数およびスライド区間の長さが舗装体の変形にどのようなかかっているのか注目されたい。

### (1) 摩擦を考慮した埋設ジョイントの構造モデル

埋設ジョイントと桁の関係を簡略化し、図-10に示すように、変形しない剛体の台座の上に舗装体載っているもの考える。そして、左側の台座のみが左方向に平行移動するものとする。舗装体と台座とのスライド区間の長さが $L$ で舗装体の材料特性が均一であるとすると、スライド部に全く摩擦力が作用していない場合の引張ひずみは、スライド部全体に均等に生じることになる。これまでの本型式の埋設ジョイントでは、このような考え方で舗装体の変形をとらえていた。これに対して、スライド区間全体に均等に摩擦が生じる場

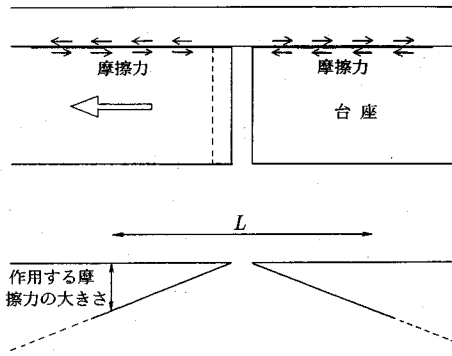


図-11 スライド区間の長さとの摩擦力の関係

合は、図-11に示すように台座が移動することによって台座にすべりの方向と逆方向に摩擦力が作用し、舗装体にはこれと逆方向、すなわち台座が移動する方向と同じ大きさの摩擦力が外力として作用することになる。そして、スライド区間の長さ  $L$  が長くなると、すべり面の面積が大きくなって舗装体の自重が増加し、舗装体全体に作用する摩擦力も大きくなる。

ここで、図-11に示した埋設ジョイントのモデルをさらに単純化して、舗装体を厚さの薄い無限の長さを有する一次元の弾性体と仮定する。これを図-12に示すように剛体の上に置き、端部を力  $P_0$  で水平方向に引き伸ばすことを考える。これは先の図-11に示したものの右半分に相当するモデルである。舗装体の長さ方向に座標軸  $x$  を設け、舗装体と台座間の摩擦力を  $f_x$  で表すと、任意の位置において舗装体に作用する引張力  $P_x$  は次式のように表される。

$$\begin{aligned} P_x &= P_0 - f_x \\ &= P_0 - \mu \cdot m \cdot g \cdot A \cdot x \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 $\mu$  : 舗装体と台座の摩擦係数

$m$  : 舗装体の密度

$g$  : 重力加速度

$A$  : 舗装体の断面積

$P_x$  は負の値にならないので、 $x$  が  $(P_0/\mu mgA)$  より大きい位置では引張力は作用せず、すべりも変形も生じないことになって、この問題ではこれ以上スライド区間を設けても無意味ということになる。この場合の任意の位置におけるひずみ  $\epsilon_x$  は、舗装体の変形係数を  $E$  とすると次式で表され、分布形状としては図-12のような三角形となる。

$$\epsilon_x = \frac{P_0}{EA} - \frac{\mu mg}{E} x \quad (3)$$

任意の位置  $x$  に微小長さ  $dx$  の要素を考えると、その要素の伸び量  $dl$  は、

$$dl = \epsilon_x \cdot dx \quad (4)$$

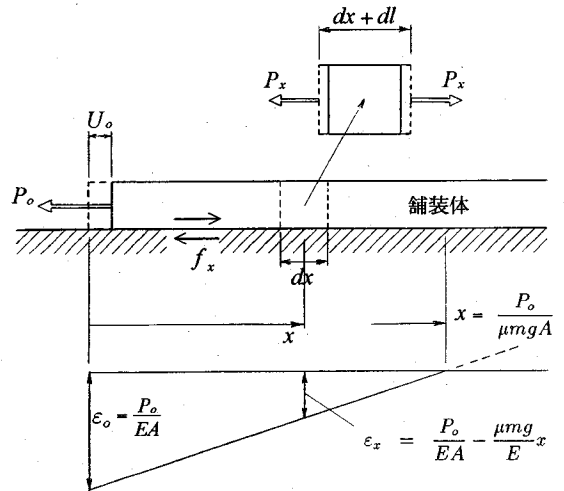


図-12 埋設ジョイントの構造モデル

となる。スライド区間の長さを有限の  $L$  とすると、端部に力  $P_0$  を加えて舗装体を引き伸ばしたことによる端部の移動量 (舗装体の伸び量)  $U_0$  は、式 (3) と式 (4) より、

$$\begin{aligned} U_0 &= \int_0^L dl \\ &= \frac{P_0}{EA} L - \frac{\mu mg}{2E} L^2 \end{aligned} \quad (5)$$

つぎにこの問題を、端部に変位  $U_0$  を強制的に与えて引き伸ばすことに置き換えて、変形量 (ひずみ) について注目してみる。式 (5) において、 $P_0/EA = \epsilon_0$  とすれば、最もひずみが大きく現われる端部におけるひずみ  $\epsilon_0$  は次式で表される。

$$\epsilon_0 = \frac{U_0}{L} + \frac{\mu mg}{2E} L \quad (6)$$

式 (3) と式 (6) より任意の位置のひずみは次式のように定式化され、 $L$  が有限である場合の応力とひずみの分布は図-13に示すような台形となる。

$$\epsilon_x = \frac{U_0}{L} + \frac{\mu mg}{2E} (L - 2x) \quad (7)$$

ただし、この場合の  $U_0$  はスライド区間の全域にすべりが生じるほど十分に大きいものとする。この式は、半分の埋設ジョイントに対するもので、図-11に示した本来の埋設ジョイントのモデルに適用するには、 $L$  と  $U_0$  をそれぞれ  $L/2$ 、 $U_0/2$  と置き換える必要がある。

ここで導出した式 (7) を用いると、前章の伸縮試験の結果をうまく説明することができる。試験結果では、舗装体の変形が中央の遊間部に集中する傾向にあり、その程度は高温で伸縮変位が小さいほど高くなっていった。そして、格子パネルによって舗装体が補強されている場合は、中央部の集中がかなり緩和されていた。これらは温度変化や格子パネルの有無によって  $E$ 、すなわち舗装体のスティフネスがそれぞれ異なっていたことによるものである。また、スライド用シートを配備し



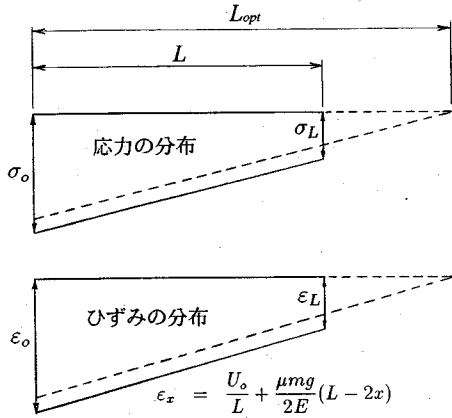


図-13 舗装体の応力とひずみの分布

なかった場合は  $\mu$  が非常に大きい場合に相当しており、中央遊間部に変形が集中し発生ひずみが許容値を越えて破壊に至ったのである。

(2) ひずみ分散機能と摩擦および変形係数の関係

前節で導入した、単純化した構造モデルに基づいて、舗装体に生じるひずみに着目して考察する。摩擦が存在しない場合は式(7)の右辺第2項がなくなってひずみ分布は図-10に示したような長方形となり、変形が均等に分散された理想的な変形挙動を呈することになる。しかしながら、実際は摩擦が存在するため強制変位は均等に分散されず、図-13に示したような台形分布となる。摩擦の影響を軽減させ、台形を長方形に近づけるためには、式(7)の右辺第2項の変化率、すなわち  $(\mu mg/2E)$  を小さくし、適切なスライド区間長  $L$  を設定する必要がある。格子パネルを用いた埋設ジョイントでは、冒頭で述べた二つの特徴であるスライド用シートと格子パネルがそれぞれ  $\mu$  と  $E$  に直接関係しており、その改善に大きく寄与している。ここで式(7)における変数について整理してみると、埋設ジョイントの設計の際に設計者が操作できるものは、スライド区間長  $L$ 、摩擦係数  $\mu$ 、舗装体の変形係数  $E$  である。 $\mu$  と  $E$  については、シートや格子パネル、アスファルト混合物などの諸元が決まってしまうと、ある意図をもって設計者が任意に設定することは難しくなる。残るところ、設計者が任意にコントロールできるのは  $L$  のみとなり、 $L$  の選定が本型式の埋設ジョイントの構造設計ということになる。しかしながら、前章の単純引張試験の結果では、格子パネルが存在することによって  $E$  がかなり大きくなることが確認されている。格子パネルによるアスファルト混合物の補強効果とその特性について詳しく検討すれば、いくらかコントロールできるものと考えられる。

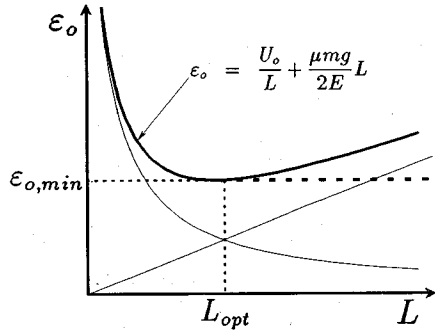


図-14  $\epsilon_o$  と  $L$  の関係

つぎに、 $L$  の選定について考えてみる。強制変位が作用した埋設ジョイントの舗装体において、応力とひずみが最大値となる遊間部のひずみの値は式(6)で与えられた。舗装体としては、変形が分散されて最大ひずみである  $\epsilon_o$  が小さいほど望ましいことになる。式(6)について  $\epsilon_o$  と  $L$  の関係を模式的にグラフで表すと図-14に示すようになり、 $\epsilon_o$  の最小値を与える  $L_{opt}$  は次式のようなになる。

$$L_{opt} = \sqrt{\frac{2EU_o}{\mu mg}} \quad (8)$$

式(8)で与えられる  $L_{opt}$  は図-13に示した台形のひずみ分布がちょうど三角形となるような  $L$  である。実際には  $L$  が式(8)の値以上であれば、最小の  $\epsilon_o$  を与えることになる。この  $L_{opt}$  も  $E$  の関数で与えられ、 $L$  の選定においても舗装体の材料特性が重要ということになる。式(6)と式(8)より、 $\epsilon_o$  の最小値は次式となる。

$$\epsilon_{o,min} = \sqrt{\frac{2\mu mg U_o}{E}} \quad (9)$$

このように、伸縮分散型の埋設ジョイントにおいて、ひずみ分散機能を有効に得るためには、ある程度の  $E$  が期待できるような材料を用いて適切な  $L$  を設定し、遊間部の  $\epsilon_o$  をできるだけ小さく抑えることが肝要となる。アスファルト混合物では、 $E$  に相当するものが温度や変位速度、変形のレベルによって著しく変化することから、実際的には、許容ひずみの値をどのように設定し、 $E$  に相当するものをいかに見積もって、ひずみの分散がどの程度現れるのかをしっかりと押さえることが重要ということになる。

6. まとめ

本研究では、格子パネルを用いた埋設ジョイントにおいて最も重要な特性であるひずみ分散機能について、室内試験と簡単な構造モデルによって検討を行った。室内試験では、舗装体の変形を測定してひずみ分散機能を評価し、定性的な特性を把握した。単純化モデルに

よる検討ではシート間に生じる摩擦を考慮し、ひずみ分散の機能におけるスライド区間長と舗装体の材料特性のかかわり合いについて考察した。その結果、摩擦の存在に対する格子パネルの重要性と摩擦を考慮したスライド区間長の決定についていくつかの知見を得ることができた。そしてさらに、今後詳しく検討して本研究を進展させるべく具体的な課題も見いだすことができた。以下に本研究の結論をまとめる。

(a) 格子パネルとスライド用シートを併用した本型式の埋設ジョイントにおいて、見込まれていたひずみ分散機能を室内試験で確認することができた。格子パネルとスライド用シートはそれぞれ不可欠な要素であって、両者が有機的に作用することによってひずみ分散機能を有効に得ることができる。また、温度や伸縮作用のレベルの違いに対するひずみ分散機能の特性を定性的に明らかにした。

(b) 伸縮分散型の埋設ジョイントでは、床版と舗装体の付着を緩和させるせん断層(本型式ではスライド用シート)の存在が重要とされているが、これだけでは不十分であり、伸縮変位を効果的に分散させるためには、舗装体全体に応力が伝達されるように舗装体を補強する必要がある。格子パネルを用いた埋設ジョイントにおいては、ハニカム形状の格子パネルがこの役割を務めており、伸縮作用に対するアスファルト混合物の補強に大きく寄与している。つまり、格子パネルは、上方からの交通荷重に対する補強(耐流動)の効果<sup>4),5)</sup>に加えて、橋軸方向の伸縮作用に対する補強の効果も有している。

(c) 現時点の設計ではスライド用シート間に生じる摩擦を無視しているが、スライド区間の長さを決定する際には、摩擦を含めた考え方で選定する必要がある。これについては、単純な構造モデルを導入して具体的に考察し、大略的な算定式を導いた。摩擦の影響の程度は、舗装体の材料にかかわる力学特性に大きく依存することから、埋設ジョイント特有の条件に対する舗装体の材料特性(破壊ひずみやスティフネス)を明らかにしていく必要がある。

(d) 格子パネルを用いた埋設ジョイントのひずみ分散機能を向上させ、さらなる適用の拡大をはかるには、摩擦の影響が小さくなるように、格子パネルによるアスファルト混合物の補強と適切なスライド区間長の設定を中心に検討していく必要がある。特に、格子パネルによる混合物の補強効果については、具体的なメカニズムや高い効果を得るための条件について詳しく調べなければならぬ。

最後に、ここでの検討では、単純化モデルから導いた舗装体の変形を与える式の正当性についての照査が

不十分であった。この式の正当性を検証するには、アスファルト混合物単体や混合物と格子パネルの複合体についての材料特性、およびシート間の摩擦力を定量的に把握しなければならない。アスファルト混合物の材料特性(スティフネス)を直接的に評価し、温度および変位速度の依存性も含めて定量的に把握することは非常に難しく、この辺の詳しい検討は今後の課題としたい。

謝辞： 本研究の室内試験については、東亜道路工業(株)の塩尻謙太郎氏、当時 長岡技術科学大学の大学院生であった鈴木一隆氏(現在、日本道路公団)および現在 大学院生の小笠原長生氏に多くの支援をいただいた。また、試験の一部は平成5年度文部省科学研究費補助金一般研究(C)(課題番号:05650430)の援助を受けた。ここに、深甚なる感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 既設橋梁のノージョイント工法の調査研究委員会：埋設ジョイント設計施工の手引き(案)、(財)道路保全技術センター、pp.20-33, 1993.
- 2) 深沢泰晴、岡村雄樹、杉山俊幸、笹本忠彦：舗装路面を連続させた道路橋伸縮装置の開発研究、橋梁と基礎、91-6、pp.27-32, 1991.
- 3) 山本忠守、大串久之：埋設ジョイントの室内試験と試験施工、舗装、28-2、pp.23-29, 1993.
- 4) 高橋 修、丸山暉彦、稲葉武男：埋設ジョイント、ヘキサロックジョイントに関する研究、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp.142-143, 1992.
- 5) 高橋 修、丸山暉彦、鈴木一隆、稲葉武男：格子パネルを用いた埋設ジョイントの変形特性に関する実験的考察、長岡技術科学大学 研究報告 第16号、pp.11-19, 1994.
- 6) 鈴木英明、高橋 修、塩尻謙太郎：格子パネル型埋設ジョイントに用いる混合物についての一考察、第6回北陸道路舗装会議技術報告集、pp.37-42, 1994.
- 7) 佐野正典：格子鉄板を埋設したアスファルト混合物の変形状に関する研究、土木学会論文集、第426号/V-14、pp.233-236, 1991.
- 8) 阿部忠行、馬場智章、塩尻謙太郎：鋼製六各パネル型埋設ジョイントの耐流動性の検討、第20回日本道路会議一般論文集、pp.656-657, 1993.
- 9) Brown, S.F., Brodrick, B.V. and Sham, C.: Endurance testing of bridge deck expansion joints, *Transport and Road Research Laboratory, Contractor report 297*, 1991.
- 10) 高橋 修、丸山暉彦、稲葉武男、中山 朗：格子パネルを用いた埋設ジョイントの変形挙動について、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp.796-797, 1993.
- 11) 高橋 修、北見英一、稲葉武男：格子パネル型埋設ジョイントのひずみ分散機能-中沢高架橋での追跡調査-、第6回北陸道路舗装会議技術報告集、pp.33-36, 1994.
- 12) Clauwaert, C.: A study of expansion joints and buried joints for bridges in Belgium, *Proc. 2nd world congress on joint sealing and bearing systems for concrete structures*, ACI publication SP-94, pp.613-642, 1986.

(1995. 1. 19 受付)

# FUNDAMENTAL STUDY ON STRAIN DISPERSION FUNCTION OF THE GRID PANEL TYPE BURIED JOINT

Osamu TAKAHASHI, Teruhiko MARUYAMA and Takeo INABA

To use a buried joint on roadway viaduct is one of the effective methods for putting a jointless system to practical use. The grid panel type buried joint, which contains steel honeycomb grid panel and sliding sheets, has the advantage of being applied to long spanned bridges. This advantage is caused by strain dispersion function which is the most remarkable point of the buried joint. This type buried joint, however, has been developed from only experiences or results of test installation. Therefore degree of the effect and basic characteristics about strain dispersion function are not proved.

In this paper, strain dispersion function of this type buried joint is evaluated by laboratory experiments, and effects of grid panel and sliding sheets are investigated respectively. From the result of experiments, it is suggested that the friction between sliding sheets considerably affects strain dispersion function. So relation between strain dispersion function and the friction is also discussed with simply analytical study. It is concluded that grid panel is necessary element for this type buried joint and material characteristics of composite mixture which consists of asphalt mixture and grid panel is important for strain dispersion function.