

# 論文 アスファルト舗装下に設置された矩形管の力学的挙動

三井雅一\*1・福沢公夫\*2・沼尾達弥\*3・服部恵光\*4

**要旨:** コンクリート矩形管をアスファルト舗装下に設置するとき、舗装の厚さにより地表に作用する荷重によって管に生じる応力がどのように変化するかを実験的・解析的に検討を行った。その結果、アスファルトの応力分散角度 $\phi$ が約 $60^\circ$ であることおよび舗装を介して載荷する場合は直接矩形管に載荷する場合よりも応力が小さくなることを実験的に示すとともに、3次元有限要素法解析により数値的に推定できることを示した。

**キーワード:** コンクリート矩形管、応力分散角度、アスファルト、3次元FEM解析

## 1. はじめに

コンクリート矩形管とは、遠心力締固めによって製造されるコンクリート製品の一種であり、地下埋設管として用いられたり、道路用側溝の代用品として用いられている。この管を道路に横断する方向へ設置する場合には、道路舗装の下に設置することも考えられる(図-1)。このとき、アスファルト舗装の存在により自動車の輪荷重等による荷重が分散され、直接載荷の状態より矩形管の応力は減少するものと思われる。しかし、これまで矩形管に輪荷重が作用するときの力学的挙動、さらに舗装が存在するときの研究は行われていない。本研究は、アスファルトに集中荷重を作用させるときの応力分散角度 $\phi$ を計測し、3次元有限要素法(FEM)解析により、その妥当性を検討した。次に、矩形管上部にアスファルトを設置した載荷試験を行い力学的挙動を計測し、3次元FEM解析にて管の挙動を検討した。

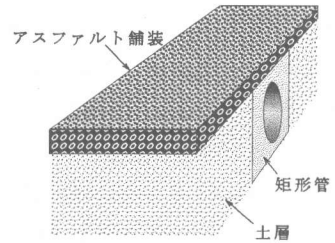


図-1 矩形管設置方法

## 2. アスファルト板による応力分散

### 2.1 実験方法

図-2に示すように、 $27 \times 27 \times 5$ cmのアスファルト板の下にコンクリート板を配置し、両者の間に感圧紙(富士写真フィルム製、圧力測定フィルム・極超低圧用)を敷き載荷を行い、感圧紙の発色範囲に基づいて応力分散角度 $\phi$ を計測した。コンクリート板は、舗装下の矩形管を擬似

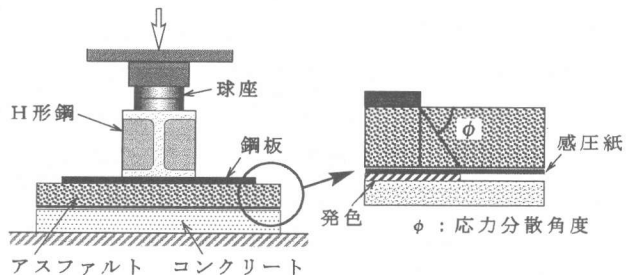


図-2 応力分散角度の計測方法

- \*1 茨城大学大学院 理工学研究科都市システム工学専攻(正会員)
- \*2 茨城大学教授 工学部都市システム工学科、工博(正会員)
- \*3 茨城大学助教授 工学部都市システム工学科、工博(正会員)
- \*4 中川ヒューム管工業(株)生産技術部課長

的に表現するものとして設置した。この試験で用いたアスファルトの配合（質量比）を表-1に示す。載荷板寸法および載荷速度を要因として定め、載荷板寸法を10×10、15×15および20×20cmに、載荷速度を0.025、0.1および0.4kgf/cm<sup>2</sup>/sと変化させた。また、載荷応力はT-20荷重の輪荷重を、そのタイヤ接地面積で除した値である8kgf/cm<sup>2</sup>までとした。感圧紙は図-3のように発色を示し、その発色領域を定めた。同時に、アスファルトのヤング率を求めるため全面載荷を行い、圧縮方向の変位を測定した。その結果、ヤング率は5.28×10<sup>4</sup>kgf/cm<sup>2</sup>となった。

## 2.2 載荷板寸法の影響

アスファルト板による応力分散を、3次元FEM解析を行い実測値と比較した。解析には、汎用FEMプログラムのCOSMOS/M Ver1.65Aを使用した。図-4に示すようにアスファルト板を水平方向に54分割、鉛直方向に5分割したモデルを用い、アスファルト板が直方体と単純な構造であるためにその1/4を解析対象とした。その切断面は、連続性を考慮し面ローラー支持とし、モデル底面はアスファルト板中央において全方向固定支持とした。他の部分については鉛直方向のみの固定とした。解析要素は線形8節点ソリッド要素を使用し、ヤング率に測定値、5.28×10<sup>4</sup>kgf/cm<sup>2</sup>を用いポアソン比は0.25とした。鉛直応力の解析結果の一例を図-5に示す。この図は載荷板が10×10cmの場合の解析である。図から分かるように、圧縮応力が載荷面から鉛直方向に伝わるに従い分散されている。解析において、応力分散角度φは2kgf/cm<sup>2</sup>の応力が底面に生じる範囲から算定した。これは試験に使用した感圧紙の測定下限値が2kgf/cm<sup>2</sup>であり、それに合わせたためである。

試験と解析より得られたアスファルト板の応力分散角度φを表-2に示す。また、図-6に載荷板が15×15cmの場合における計測・解析結果の比較を示す。図より解析は、実測したアスファルトの応力分散挙動をよく表現できていると言える。また、表-2から分かるように、載荷板20×20cmの計測値以外、応力分散角度は60°前後の値をと

表-1 アスファルトの配合

		粒径	配合率	比重
骨材	13~5mm		32.1	2.71
	砂利	5~2.5mm	21.7	2.7
	砂		34.0	2.66
	石粉		6.6	2.71
アスファルト			5.6	1.03
計			100.0	

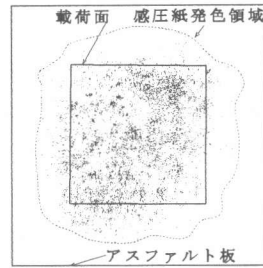


図-3 感圧紙発色状態

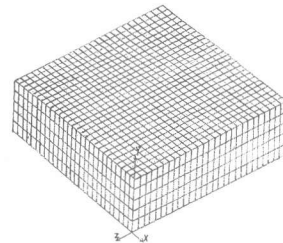


図-4 要素分割図

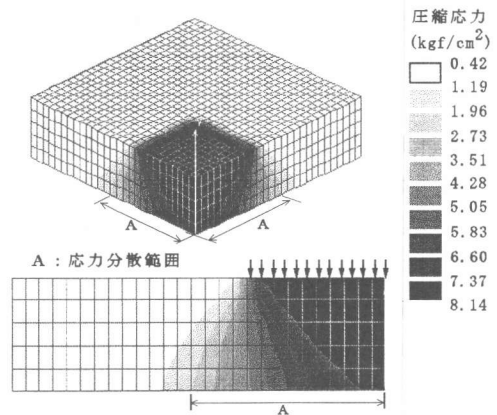


図-5 解析結果（載荷面積10×10cm）

表-2 分散角度比較

載荷板面積 (cm)	応力分散角度φ (°)		比率
	計測	解析	
20×20	78.04	61.34	1.27
15×15	59.18	63.49	0.93
10×10	61.46	67.52	0.91

っている。載荷板20×20cmの場合において、他より大きい角度となっているが、載荷板面積が大きすぎ十分に感圧紙が発色するだけの領域が確保されていなかったためと考えられる。現在、矩形管のような地下埋設構造物の設計指針等では、広く用いられている分散角度は45°である[1]。本研究による計測値の分散角度は約60°となり、地下構造物にとって、応力の集中度を大きく考える必要がある。

### 2. 3 載荷速度および載荷持続時間の影響

アスファルトの応力分散角度の影響を与える要因として載荷速度を考えたが、試験を行った水準の範囲では大きな影響はみられなかった。また、最大応力8kgf/cm<sup>2</sup>を0、300、600sの時間、持続的に載荷させ測定を行ったが影響はほとんどみられなかった。

## 3. アスファルト板を設置した矩形管の挙動

### 3. 1 試験方法

前章ではアスファルト板に載荷する場合の応力分散の検討を行った。ここでは、矩形管の上部にアスファルト舗装が施されたときの挙動を想定する実験を行った。試験には表-3に示す内径60cmの矩形管を使用し、管上面にアスファルト板を置き、鋼製の載荷ブロックを介して載荷した。アスファルト板の厚さは5cm、10cm、15cm、さらに矩

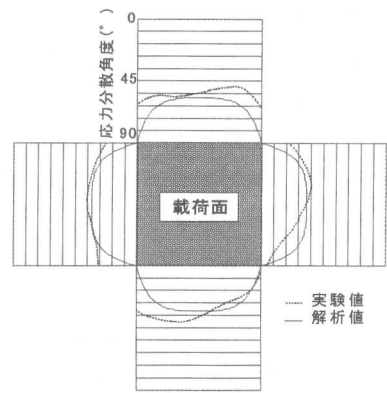


図-6 分散角度比較図

表-3 矩形管寸法

単位：cm

内径 D	高さ、幅 B	厚さ t	管厚比 R、	有効長 L	参考重量 (kg)
60	78.6	9.3	0.31	240	1960

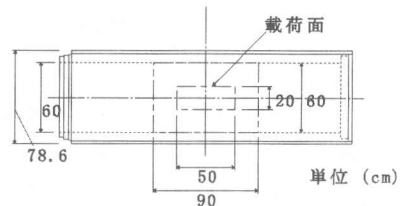
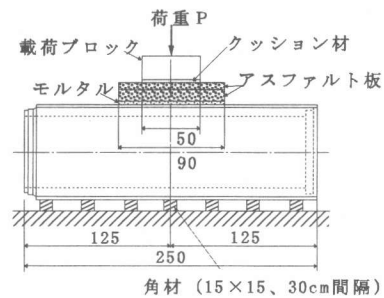
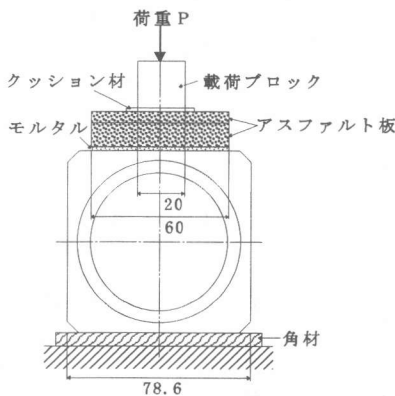


図-7 矩形管試験方法

形管上面に直接載荷する場合の4通りとした。載荷にはアムスラータイプの油圧載荷試験機を使用し、載荷ブロックの面積は、道路土工指針で示されている自動車荷重の後輪設置面積20×50cmとした。なお、前述の試験結果に基づき応力分散角度を60°とすると、厚さが最大値の15cmの荷重による影響範囲は67×37cmとなる。荷重の分散状況を観察できるようにアスファルト板は、影響

範囲より大きい90×60cmとした。

載荷荷重については自動車荷重T-25を考え、後輪片輪の10tfまでの載荷とした。載荷荷重が均等にアスファルト板に伝わるように、鋼製載荷ブロックとの間に発泡ポリウレタン製で厚さ10mmのクッション材を設置した。また、矩形管の底面には角材を使用した。以上の試験方法を、図-7に示す。

載荷に伴う矩形管内外面のひずみ、管直径の鉛直方向における変位を測定した。ひずみ測定用のワイヤストレインゲージは21箇所貼付した。アスファルト板と接触している矩形管上面ではゲージが、アスファルト中の骨材によって集中応力を受けることを避けるため、ゲージを管に貼付した後モルタルを薄く敷き、その上からアスファルト板を設置した。また、内径の鉛直変位を計測する変位計は、管の挿し口、受け口および管の中央部付近に配置した。以上の各測定機器の配置を図-8に示す。

### 3.2 解析方法

解析では前章と同じく3次元FEM解析を用いた。載荷位置が管の中央部であること、矩形管が管軸方向に対称構造であることから解析対象としては管の1/4とした。切断面の連続性を考慮し、面ローラー支持を与え、矩形管は土層要素の上に設置することとした。解析要素は、線形8節点ソリッド要素を使用し、要素分割は図-9に示すように行った。

コンクリート矩形管は、ひび割れ発生前での範囲で設計されることから、弾性解析を行うこととした。解析に用いた材料特性値を、表-4に示す。コンクリートの弾性係数は、矩形管が遠心力締固めにより製作されることで高強度のコンクリートとなり、圧縮強度は600kgf/cm<sup>2</sup>程度であることから、RC示方書より弾性係数を3.43×10<sup>5</sup>kgf/cm<sup>2</sup>とした。また、ポアソン比は0.167とした。アスファルト板には前章と同一の配合のものを使用し、FEM解析に用いる物性値も前章と同一とした。

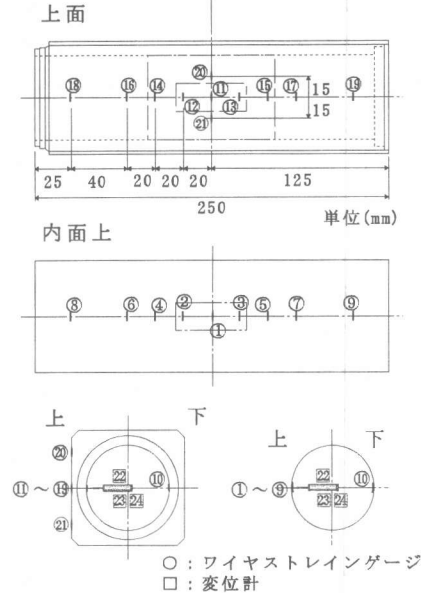


図-8 各測定器の配置

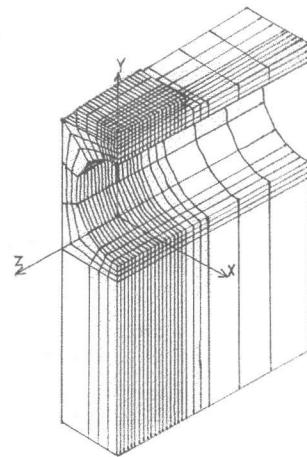


図-9 要素分割図

表-4 材料特性値

	弾性係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )		ポアソン比	
	アスファルト	X方向	5.28×10 <sup>4</sup>	X Y方向
	Y方向	Y Z方向		
	Z方向	X Z方向		
コンクリート	X方向	3.43×10 <sup>5</sup>	X Y方向	0.167
	Y方向		Y Z方向	
	Z方向		X Z方向	
土層	X方向	10	X Y方向	0.167
	Y方向	100	Y Z方向	
	Z方向	10	X Z方向	

### 3.3 試験・解析結果の比較

鉛直方向と管周方向の応力の解析結果を図-10および11に示す。図-10より、矩形管上部の荷重により管の側面部内側に鉛直方向の圧縮応力が卓越し、一方、その部分の管外面には引張応力の生じることが分かる。図-11には管周方向の応力を示しているが、アスファルトと接触している部分において圧縮応力が生じ、その位置の管内面には引張応力が生じていることが分かる。この引張応力の値は解析モデル中の最大主応力の値とほぼ等しく、また生じている位置・方向もほぼ同一となる結果となった。

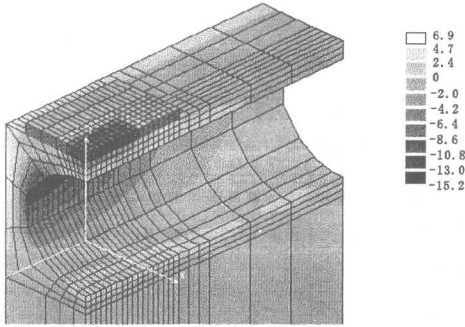


図-10 解析結果 (鉛直方向)

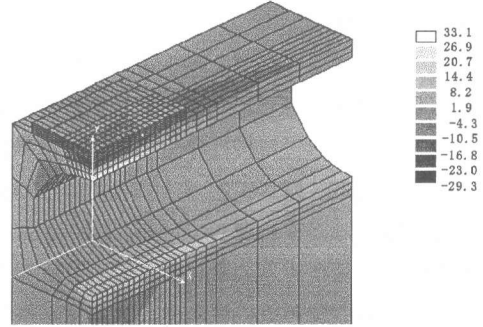
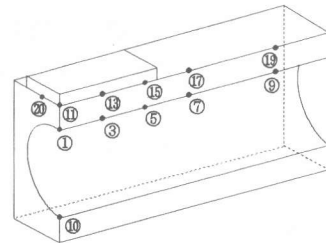
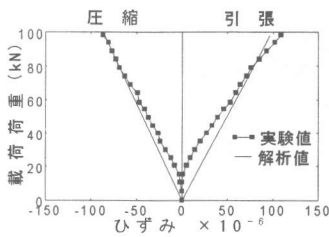


図-11 解析結果 (管周方向)

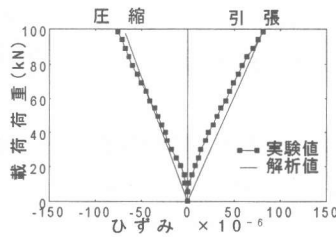
最大応力の生じている箇所は管中央部の上または下における管周方向となる。アスファルト厚さが10cmの場合の荷重試験によるひずみの測定結果と、FEMによる解析結果との比較を、図-12 (b)～(h)に示す。ひずみの測定位置は図-12 (a)のとおりである。それぞれの図において、上下同じ位置である計測点では管外面には圧



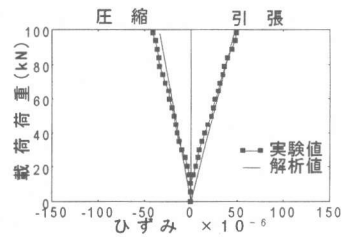
(a) 比較対象の計測点



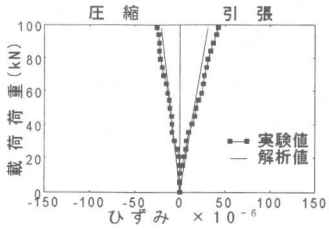
(b) ①, ⑪



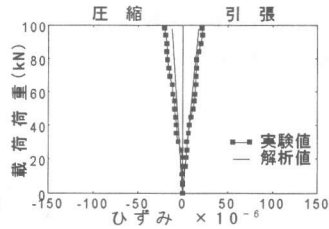
(c) ③, ⑬



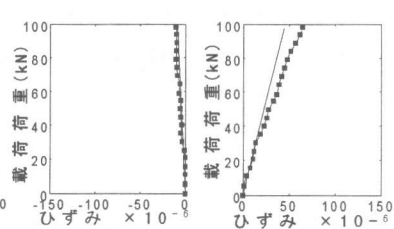
(d) ⑤, ⑮



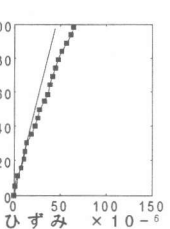
(e) ⑦, ⑰



(f) ⑨, ⑲



(g) ⑳



(h) ⑩

図-12 試験・解析結果の比較

縮ひずみが生じ、内面には引張ひずみが生じることにより、図の左側に圧縮となる計測点、右側に引張側となる計測点を示す。

載荷試験によって得られた最大ひずみと解析値との比較を表-5に示す。なお、最大引張ひずみは管内側中央部における管周方向の値である。

### 3. 4 考察

前記のように、アスファルトの厚さを10cmとすると、矩形管載荷試験で得られた値とFEM解析での値の比較から分かるように、解析は十分に矩形管の挙動を表現していると言える。厚さが0、5、15cmものについても実測値と解析値とはよく一致している。図-13は、計測値と解析値の引張ひずみの変化を、アスファルトの厚さごとに示したものである。図より、実測値と解析値がほぼ一致すること、またアスファルト板の位置が点線で示されているが、この外側での変化は少ないことがわかる。図-14にアスファルトの厚さを変化させるときの解析値によるひずみの比較結果を示す。これより、アスファルトのあることにより、かつ、その厚さが厚いほど矩形管に生じるひずみが小さくなることがわかる。

### 4. まとめ

本研究で得られた知見は、以下の通りである。

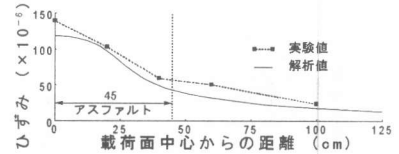
- (1) 道路下に埋設する構造物上に集中荷重が作用するときの応力分散角度は、一般的に45°とされているが、アスファルトを用いた本研究の結果は約60°となった。
- (2) アスファルトをコンクリート矩形管上部に配置する場合、アスファルト上から荷重が作用することにより矩形管に生じる応力が減少する。その減少の程度はアスファルトの厚さが大きいほど大きく、減少する範囲は厚さの影響がみられない。これらの現象を3次元有限要素法解析により数値的に解析することができた。

### 参考文献

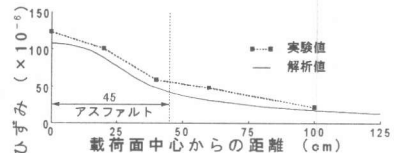
- [1] 道路土工—擁壁・カルバート・仮設構造物工指針、pp.99-107、1989.8.

表-5 最大ひずみの比較

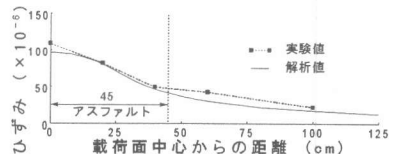
アスファルト厚 (cm)	最大ひずみ ( $\times 10^{-6}$ )					
	圧縮			引張		
	測定	解析	比率	測定	解析	比率
0	105.0	140.7	0.75	139.0	118.6	1.17
5	98.0	103.1	0.95	123.0	107.3	1.15
10	87.0	85.3	1.02	109.0	96.6	1.13
15	76.0	71.0	1.07	103.0	85.2	1.21



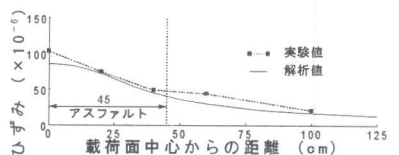
(a) アスファルト厚 0cm



(b) アスファルト厚 5cm



(c) アスファルト厚 10cm



(d) アスファルト厚 15cm

図-13 中心からのひずみ

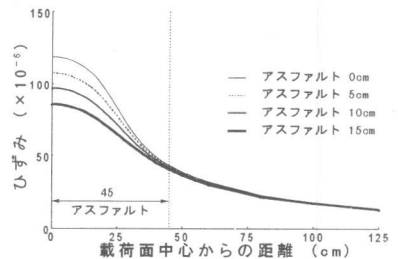


図-14 厚さによる比較