

1. まえがき

最近、防振スラブ軌道の突起周辺にてん充されたCAモルタルにおいてクラックの発生が認められる例があり、これらの補修が行われているほか、まれに突起自体の破壊に至った例もある。もともと軌道スラブの下面にてん充することを目的として開発されたCAモルタルは有造床並みの弾性と所要強度を持たせたものではあるが、突起周辺にてん充される場合には耐力限度に近くなっており、ゴムマットを含めたばね係数等の不明確な点も多い。ここではこれらの特性を明らかにするため試験を実施し、これについて解析を行った結果について報告する。

2. 従来の突起設計上の問題点

標準的な防振A型スラブ軌道の定着用突起に作用する外力 (F) は

$$F = \sqrt{\{F_r + \frac{1}{2} \cdot \bar{k} \cdot l \cdot \gamma \cdot t + \bar{k} \cdot W_0 \cdot \mu' / (\bar{k}_t + \bar{k})\}^2 + F_c^2}$$

(ここで、 F_r : ロングレール縦荷重、 $\bar{k}$: 突起ばね係数、 l : 軌道スラブ長さ、 γ : スラブ線膨張係数、 t : 軌道スラブと高架橋スラブの温度差、 W_0 : 軸重、 μ' : レールと車輪の始動時摩擦係数、 $\bar{k}_t$: スラブマットの水平方向ばね係数、 F_c : ロングレール横荷重) で示される。このうち $\bar{k}$ は CAモルタルとゴムマットの合成ばね係数で、東北新幹線では 41 tf/cm として設計され、ゴムマットは $10 \times 10 \times 2 \text{ cm}$ の試験片で 4.3 tf/cm のものが採用された。しかし、一般にゴムや樹脂はポアソン比が 0.5 に近く、その実際のばね係数は形状率を考慮しないと合わないとされており、突起のようにゴムマットの形状率が大きく、円形状に異状付されている構造における設計値と実際のばね係数との適合性については明らかにされていなかった。

また、CAモルタルに生ずる応力としては、上式で算出された外力を受圧面積で除する簡便法により求めているが、実際にはこれより厳しいことが予想された。

3. 突起の静荷重試験とその結果

防振スラブ軌道の突起周辺にてん充されるCAモルタルの厚さは標準 45 mm であるが、施工誤差により前後、左右にずれを生じ、最小厚としては 30 mm まで許容されている。そこで図1に示すような5種類の施工条件を想定した突起供試体と施工し、静荷重試験を実施した。試験方法としては、防振A型スラブ軌道の設計荷重 8.5 tf を油圧ジャッキにより3回繰返し突起に載荷し、ついで 20 分の持続荷重を加え、最後に破壊に至るまで載荷し、各荷重段階における変位を測定した。図2は荷重-変位曲線の例を示したものである。この場合の突起ばね係数としては、2回目と3回目の繰返し載荷のうち荷重領域が $2 \sim 8.5 \text{ tf}$ 間の傾きを採用することとした。

その結果、各試験条件下の突起ばね係数は No.1 が 42.5 tf/cm のほかは $73 \sim 86 \text{ tf/cm}$ であり、破壊荷重は $12 \sim 16 \text{ tf}$ であった。

4. 有限要素法による解析と試験結果に対する考察

各試験条件毎の突起ばね係数およびCAモルタルの応力を算定する方法としては、有限要素法による解析(2次元平面ひずみまたは3次元ソリッド解析)が有利と考えられる。

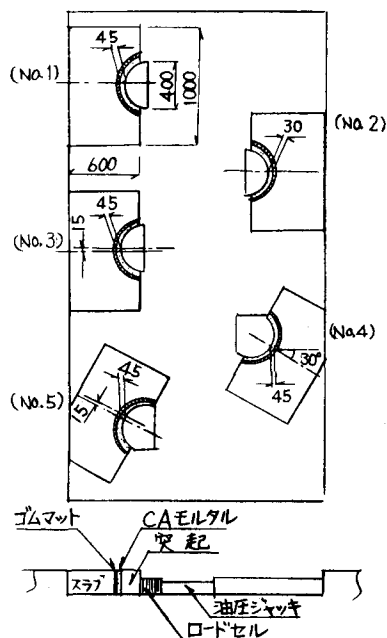


図1 突起供試体による静荷重試験

ここでは、スラブ、ゴムマット、CAモルタルおよび突起は全て各層内で等方均質な弾性体と仮定し、2次元解析では節点数60、要素数100の三角形要素に、3次元解析では節点数330、要素数176の六面体要素に分割して計算した。なお、計算に用いたプログラムは国鉄構造物解析プログラムシリーズ"STAPS-5"である。その計算結果は測定値と共に表1に示したとおりである。

2次元解析による突起ばね係数は、CAモルタルの弾性係数が1000 kgf/cm²の場合50～55 tf/cmであるが、2000 kgf/cm²の場合には56～59 tf/cmと約10%増加する。3次元解析による突起ばね係数は2次元解析に比べて約13%小さい。各試験条件による突起ばね係数の差はほとんどないが、CAモルタルの主応力はNo.1～3とNo.4とではかなり異なり、レール方向に対しある角度をもって荷重が作用するNo.4の方が応力としては厳しい。図3に計算例を示す。

上記の試験および計算の結果を考察するとつぎのとおりである。

(1) 突起ばね係数の測定値はNo.1だけが42.5 tf/cmで他の測定値と比べ約1/2の小さい結果であったが、計算値によれば試験条件別の差は余りないことから、No.2～5の73～86 tf/cm程度と考えられる。ただし、荷重-変位曲線に見られるように、荷重が0～8.5 tf間の見掛けのばね係数はこれよりかなり小さく44～55 tf/cmとなっており設計値41 tf/cmより大きい。また、実効値としてはこれらの中間にあるものと考えられる。

(2) 計算値は50～55 tf/cmで設計値と測定値の中間に位置しており、ほぼ実効値に近いものと考えられる。

(3) CAモルタルの圧縮強度はNo.1～3の場合よりNo.4の場合の方が大きく、設計値の13.8 kgf/cm²を約17%上回る16.1 kgf/cm²でかなり厳しい。(CAモルタルの圧縮強度は18 kgf/cm²)

5. あとがき

試験の結果、突起ばね係数は設計値よりかなり大きく、従って突起に作用する外力も若干大きくなること、CAモルタルの応力も同様に設計値より若干大きくなることが明らかになった。この対策としては、現状の突起寸法を大きくすること、ゴムマットのばね定数を低下すること、樹脂を採用すること、突起周辺にて充填されるCAモルタルの強度の増加、繊維の混入等が考えられる。

なお、この課題については佐藤吉孝軌道研究室長の御指導により行なったものであることを記し謝意を表する。

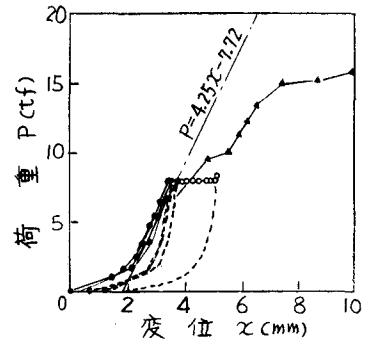


図2 荷重-変位曲線の例(No.1)

表1 測定および計算結果

試験番号 (No.)	測定値		設計値		計算値			
	見掛けのばね係数 $\bar{k}$ (tf/cm)	ばね係数 k (tf/cm)	ばね係数 k (tf/cm)	CAモルタルの圧縮応力 σ_c (kgf/cm ²)	2次元		3次元	
					ばね係数 $\bar{k}$ (tf/cm)	CAモルタルの主応力 σ_1 (kgf/cm ²)	ばね係数 $\bar{k}$ (tf/cm)	CAモルタルの主応力 σ_2 (kgf/cm ²)
1	28.1	42.5			(57.5) 52.5	(0.56) 0.58	(11.0) -11.2	(50.1)
2	49.1	72.8			54.8	0.53	-11.3	
3	47.5	80.9			51.0	0.63	-11.4	
4	44.2	72.5	41	-13.8	49.9	4.7	-16.1	
5	54.8	86.3						

(注) CAモルタルの弾性係数は1000 kgf/cm²(カッコ内は2000 kgf/cm²)

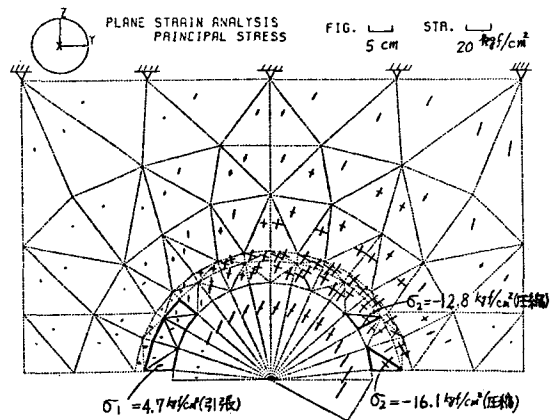


図3 主応力図の計算例(No.4)