

# 水平鋼管矢板構造の継手による荷重 分配作用の現場実測

## FIELD OBSERVATION OF LOAD DISTRIBUTION BY JOINT IN PIPE BEAM ROOF

後藤 芳 顯\*・山下 彰 彦\*\*・高瀬 幸 紀\*\*\*

By Yoshiaki GOTO, Akihiko YAMASHITA and Yukinori TAKASE

Field observations are carried out on the load distribution by joint in a pipe beam roof which is used for constructing a passage under the Tohoku main line of Japanese National Railways.

The field observations are composed of two stages. The strains and the displacements of the pipes are measured under the dead load as well as the moving train load in order to confirm the accuracy of the proposed structural analysis and to examine the impact coefficients for the structure. Then, the natural frequency and the damping ratio are measured by the free vibration test to obtain the fundamental data for the dynamic properties of the structure.

### 1. ま え が き

線路下横断構造物を建設する際の覆工を兼ねた支保工として用いられる水平鋼管矢板構造では、継手内に所定の強度のモルタルを充てんした場合、継手による荷重分配作用が存在する。特に、重要な線路を支える本構造ではたわみ制限が厳しく、継手による荷重分配作用を考慮した方がより合理的で経済的な設計が可能となる。この荷重分配作用については、すでに模型実験で確認するとともに、その解析法を提案し、理論的に荷重分配性状を明らかにした<sup>1),2)</sup>。

本報告では、さらに東北本線片岡、矢板間の上富田架道橋工事<sup>3)</sup>に適用された水平鋼管矢板構造を対象に実施した現場計測をもとに、実構造における荷重分配作用の確認と構造特性の検討を行ったものである。なお、現場計測は、走行列車荷重ならびに死荷重に対する本構造のひずみ・変位の測定と、構造の固有振動数、減衰定数評価のための自由振動測定から成る。

### 2. 測定内容

#### (1) 対象構造

測定対象は、上富田付近の東北本線と都市計画道路とのパイプビーム工法による立体交差化工事で使用された、仮設構造としての水平鋼管矢板構造である。本構造の概略を図-1に示す。これは、1016φ×19t×15400l(mm)の鋼管矢板56本より成り、鋼管矢板両端を架台で支持したスパン長14.5m、鋼管矢板連結長60.5mの構造である。継手はパイプ-P型<sup>2)</sup>で、この中には表-1のモルタルが充てんされている。また、両支点部は、鋼管矢板と架台の間隙にコンクリートが打設され、近似的に単純支持、回転拘束の構造となっている。なお、鋼管の局部変形に対する補剛については、支点部は鋼管内にコンクリートが充てんされているが、活荷重の作用点では、 $D/t$ が小さく局部応力、変形が小さいことと、仮設構造ということで、特に配慮はなされていない。

表-1 継手部グラウト用モルタルの配合 (1m<sup>3</sup> 当たり)

セメント (kg)	水 (kg)	W/C (%)	混合剤ボリス No.8 ×C(%)	アルミ粉 ×C(%)	沈下時間 (秒)	膨張率 (%)
1394	558	40	0.25	0.007	6~20	0~5

設計強度  $\sigma_1=150 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\sigma_{28}=200 \text{ kgf/cm}^2$

\* 正会員 工博 名古屋工業大学助教授 土木工学科  
(〒466 名古屋市昭和区御器所町)

\*\* 正会員 工修 日本国有鉄道東京第三工務局補佐  
(〒151 渋谷区代々木 2-2-6)

\*\*\* 正会員 住友金属工業(株) 鉄構技術部副主任研究員  
(〒100 千代田区大手町 1-1-3 大手センタービル)

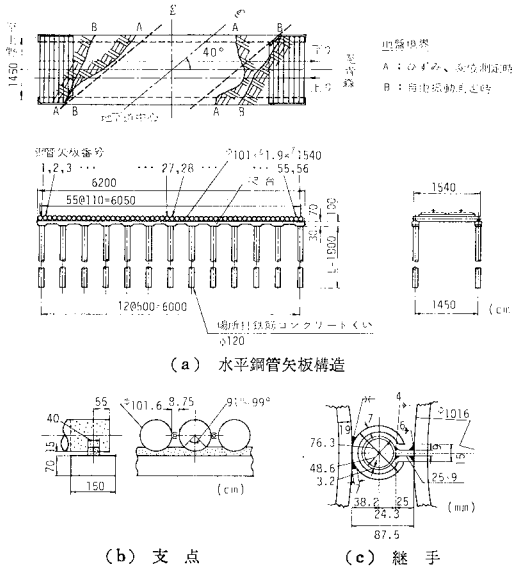


図1 パイプビーム構造(上富田)

水平鋼管矢板構造直下の地盤の掘削状況としては、応力・変位が最も大きく、設計上問題となる貫通時を扱う。ただし、本構造では、道路が鉄道と40°で交差することから、貫通時においても、斜め掘削のため、鋼管矢板構造の直下が全面掘削されることはなく、両端部付近は地盤で支持されている。さらに、貫通時でも、ひずみ・変位測定時と自由振動測定時では時間的なずれがあるため掘削状態が異なっている。

(2) 鋼管矢板のひずみ・変位の測定

測定位置は、発生ひずみ・変位が大きいと予想される掘削部の鋼管矢板に重点をおき、主として、スパン中央の縁応力と鉛直変位を計測した。また構造中央の28番鋼管矢板については、スパン方向の分布を知る目的で、スパン中央以外も測定対象とした。以上のひずみ・変位は、死荷重に対する計測を除き、動ひずみ計から波形として出力されるが、このまともめ方としては、波形から最大値を読み取り、最大応力・変位について整理した。ただし、構造特性とほぼ無関係な、Tire flatやレール継目が原因と考えられる定常的でない衝撃による最大値は、衝撃係数の算定以外では無視した。

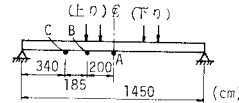
列車荷重としては、衝撃係数を測定する特定の電気機関車(EF65)以外は、通過列車を適宜測定対象とした。

(3) 自由振動の測定

自由振動の測定法としては、列車通過後の振動を測定するのが簡単であるが、本構造の場合、減衰が大きく、規則的な周期をもつ振動が明瞭に現れないため、引き綱法<sup>4)</sup>により新たに実験を行った。この方法は、水平鋼管矢板構造中央付近の27番鋼管矢板をワイヤロープで引張り、これを瞬時に開放することで、本構造に自由振

表-2 衝撃係数の実測値

		走行速度	31.7 km/h	54.6 km/h
$i_{\sigma}$	No. 1 鋼管 A*		0.02	0.05
	No. 16 "		0	0.07
	No. 20 "		0	0.07
	No. 24 "		0.01	0.08
	No. 28 "		0.06	0.05
	No. 32 "		0.03	0.06
	No. 37 "		0.05	0.08
	No. 41 "		0.02	0.06
力	No. 56 "		0	0
	No. 28 鋼管 B*		0.03	0.04
	No. 28 鋼管 C*		0.01	0.02
$i_{\nu}$	No. 20 鋼管 A*		0.05	0.05
	No. 24 "		0	0.08
	No. 28 "		0.03	0.03
	No. 32 "		0.05	0.07
	No. 28 鋼管 C*		0.03	0.01



動を生じさせるものである。

測定は上・下方向の加速度を対象とし、また測定点は、振動モードも併せて把握するために、構造中央付近の数本の鋼管矢板スパン中央に、加速度計を配置した。

3. 測定結果と考察

(1) 衝撃係数

電気機関車 EF65 を構造上の上り線で、ほぼ停止状態にすることにより得られた応力・変位の静的最大値と、同種の電気機関車が走行時の動的最大値をもとに算出した各測定点の衝撃係数を表-2 に示す。ここで動的値は2種類の走行速度について測定している。

表-2 から、全体的にみると、衝撃係数はすべて0.1以下の小さな値であるとともに、走行速度の増加により、若干増加の傾向がある。衝撃係数が小さい原因としては、列車速度が比較的低速であることにもよるが、本構造の端部が減衰の大きい地盤に拘束されていること、さらに活荷重が緩衝材としての道床・路盤を介して作用すること等が考えられる。また衝撃係数が小さいことから、本構造の列車走行方向の変形が、継手による鋼管矢板相互の連結効果で連続的になっており、走行上の問題も少ないことが確認される。

(2) 荷重分配作用に関する実測値と理論値の比較

a) 構造のモデル化

提案した解析法<sup>1)</sup>では、一部解析解を利用している関係上、構造全体の解析モデルとしては、鋼管矢板のスパン方向に一様な構造を設定する必要がある。したがって、ここでは、地盤で支持され、応力・変位が小さい端部付近の構造の解析精度を犠牲にし、応力・変位の大き

な中央付近の構造が精度よく計算されることを前提に図-2に示すモデルを設定した。このモデルでは、鋼管矢板両端が剛な

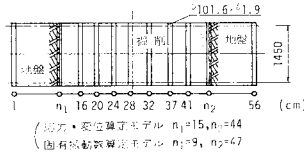


図-2 構造のモデル

架台で単純支持、回転拘束されていると仮定し、また端部付近の斜め掘削による地盤は、番号 1~15、および 44~56 の鋼管矢板スパン方向に一樣に分布した地盤反力ばねに置換している。地盤反力ばねを設定する境界は、単に、実際の掘削境界がスパン中心と交わる点から決定したが、この境界の多少の変化は、中央付近の計算結果にほとんど影響を与えなかった。解析モデルに対応し、計算に用いた物理定数は表-3のとおりである。ここで、継手ばね定数は継手のせん断試験を併用して<sup>1), 2), 5)</sup>、また地盤の反力ばね定数は測定が困難であるため、周辺地盤の  $N$  値から推定した概略値を用いた。

b) 死荷重に対する比較

変位計は掘削前に設置することができないので、死荷重に関しては、応力のみについて調べる。解析モデルの死荷重としては、28 番鋼管矢板の例を図-3に示すように、道床・路盤と鋼管矢板の重量分布を考慮して、各鋼管矢板に区分的一樣分布の線荷重を載荷した。このようにして計算した理論値と実測値の比較を図-4に示す。図中には、継手による荷重分配作用確認のために、28 番鋼管矢板に関する継手の連結を無視した結果も記入している。

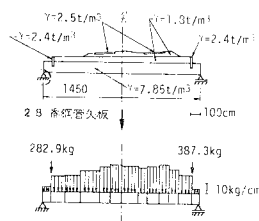


図-3 死荷重のモデル

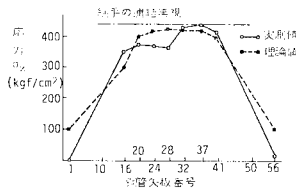


図-4 死荷重による鋼管矢板スパン中央の縁応力

これから、死荷重

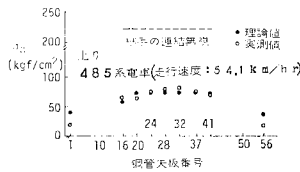
表-3 物理定数<sup>5)</sup>

鋼管矢板	断面寸法	101.6×1.9 (cm)
	断面2次モーメント	$I_x$ 7.4×10 <sup>5</sup> (cm <sup>4</sup> )
	極2次モーメント	$J$ 1.48×10 <sup>6</sup> (cm <sup>4</sup> )
	ヤング係数	$E$ 2.1×10 <sup>6</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )
	ポアソン比	0.3
	スパン長	1450 (cm)
鋼管矢板間隔	2r <sub>j</sub>	110.35 (cm)
継手ばね定数	K <sub>V</sub>	400 (kgf/cm <sup>2</sup> )
地盤反力ばね定数		1 (kgf/cm <sup>2</sup> )

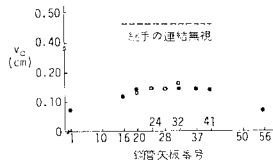
分布評価の誤差の影響を考えれば、構造中央付近の鋼管矢板については、実測値と理論値はよく一致しているといえる。また、継手の連結を無視した結果も、構造中央付近の応力の最大値に関しては実測値とよく一致している。これは、連結方向にほぼ一樣分布する死荷重に対しては、構造中央付近の鋼管矢板がほぼ同等な変形をするので、変形の差に起因する継手の荷重分配作用が発生しにくいことによると考えられる。

c) 列車荷重に対する比較

理論計算では、列車荷重として、公称の車両諸元および定員重量を与える。輪荷重の分布形としては、道床・路盤が鋼管径に比べ厚くないので、これらの分散効果は無視し、枕木幅 (200×24 cm) に等分布するものと仮定する。なお、衝撃による増幅については、すでに述べているように非常に小さい値であるので無視する。



(a) 鋼管矢板スパン中央の縁応力



(b) 鋼管矢板スパン中央の変位  
図-5 活荷重作用時の理論値と実測値の比較

列車荷重のみによる各鋼管矢板スパン中央の最大縁応力、鉛直変位に関する実測値と理論値の比較の一例を、上り線の485系の電車について図-5に示す。図中には比較のため、継手の連結を無視した値も記入した。図より、モデル化に無理のある端部付近を除いて、理論値と実測値はよく一致しており、実構造でも、ほぼ理論どおりの荷重分配作用が確認される。また、継手の連結を無視した値との比較から、列車荷重に対しては、かなりの荷重分配がなされることもわかる。なお図示を省略した他の列車荷重ケースも、ほぼ同様の状況である<sup>5)</sup>。

(3) 固有振動数と減衰定数

引き綱法で得られた各測定点の自由振動波形からの振動数、振幅の読み取りは、波形の乱れがなく、定常的な減衰振動となった領域について実施した。

実測固有振動数と図-2のモデルによる理論値<sup>1)</sup>、継手の連結を無視した28番鋼管矢板の値との比較を表-4に示す。ここで、解析モデルは測定時の掘削状況を考慮し、(2,a)と同じ方針で地盤反力ばね定数を設定し

表-4 固有振動数

実測値	理論値	鋼管矢板1本の値
7.05	7.10	6.91 (Hz)

ている。また、対象となる振動は、実測振動モードから、連結方向1次、鋼管矢板スパン方向1次の固有振動であ

る。表-4より、実測値と理論値はよく一致している。ただ、本構造では、鋼管矢板数が多く、連結方向の剛性が小さいため、連結方向1次の固有振動は継手の連結を無視した値と大差ない値となる。なお、減衰定数については、4.4~5.0%となり、これは、橋梁上部構に比べ比較的大きい値といえる。

#### 4. ま と め

線路下横断構造物建設のために用いられる水平鋼管矢板構造の継手による荷重分配作用を現場実測した。その結果、少なくとも、仮設系においては、ほぼ理論どおりの荷重分配作用が期待でき、特に、活荷重による応力・変位は、これでかなり低減されることが判明した。

最後に、現場実測で、ご指導、ご援助いただいた国鉄東京第二工事局の方々に謝意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) 山川純雄・後藤芳顕：水平鋼管矢板構造の継手による荷重分配作用の解析，土木学会論文報告集，第301号，pp. 1~12，1980年9月。
- 2) 後藤・山下・飯田：水平鋼管矢板構造の継手による荷重分配性状，土木学会論文集，344号/1-1，pp. 243~252，1984年4月。
- 3) 飯田・石川・野崎：パイプビーム工法による斜め架道橋の施工，鉄道土木，21巻5号，pp. 38~42，1981年5月。
- 4) 土質工学会編：土と構造物の動的相互作用，土質基礎工学ライブラリー 9，pp. 501~506。
- 5) 後藤芳顕：水平鋼管矢板構造の継手による荷重分配作用，東京大学学位論文，1982年11月。

(1983.8.3・受付)