

# モノレール敷設検討書

- |        |                    |
|--------|--------------------|
| 1.けん引車 | ME - 200HS         |
| 2.運転台車 | OP - 1(一名乗用台車)     |
| 3.荷物台車 | T - 3D(平台車)        |
| 4.レール  | NKAレール(50×50×2.3t) |

製造元 : 株式会社 ニッカリ

代理店 : 株式会社 マルジン

## 目 次

1. 仕様, 緒元表	-----	1
2. けん引力及び積載量の検討	-----	2
a) 条件	-----	2
b) 最大けん引力	-----	2
c) 最大積載量	-----	3
3. 架設部材の強度検討	-----	4
a) レールの強度	-----	4
b) 支持ボルトの強度	-----	5
c) 支柱の強度	-----	6
d) 支持金具の強度	-----	8
4. 打ち込み金具の安定検討	-----	9
a) 支柱打ち込み深さ	-----	9
b) 支柱の支持する垂直荷重	-----	11

1. 仕様, 緒元表

けん引車		
名称		ME-200HS
大きさ	全長 (mm)	720
	全幅 (mm)	465
	全高 (mm)	730
	重量 (kg)	100 (エンジン共)
エンジン	銘柄型式名	ホンダGX-160-K1-SNX1
	種類	空冷 4サイクル ガソリン機関
	定格出力(PS) / 定格回転速度 (rpm)	3.8 / 3600
	総排気量 (cc)	163
	始動方法	リコイルスタータ ・ セルフスタータ併用式
	クラッチ形式	遠心式
	降坂ブレーキ形式 / ブレーキ径 (mm)	内部拡張式 (遠心式) / 116
	駐停車ブレーキ形式 / ブレーキ径 (mm)	内部拡張式 / 120
緊急ブレーキ形式 / ブレーキ径 (mm)	内部拡張式 / 108	
走行速度 (m / min) / 機関回転数 (rpm)	42/3600	
駆動形式	ピニオンラック式	
駆動輪有効径 (mm) / 歯数又は突起数	120/12	

連結台車		
名称	運転台車	荷物台車
	OP-1	T-3D
乗車定員 (名)	1	-
最大積載量 (kg)	-	120
全長 (mm)	890	2080
全幅 (mm)	610	610
全高 (mm)	990	765
重量 (kg)	75 (連結器含む)	76 (連結器含む)

レール	
名称	NKAレール
寸法 (mm)	50 × 50 × 2.3
全長 (mm)	3000
支柱寸法 (mm)	外径27.2, 板厚2.3
支柱間隔 (mm)	1500
支持ボルト	段付きM14

## 2.けん引力及び積載量の検討

### a) 条件

エンジン（ホンダ GX-160）： 3.8 ps / 3600 rpm

けん引車（ME-200HS）： 100 kg （エンジン共）

運転台車（OP-1）： 75 kg

荷物台車（T-3C）： 76 kg

機械総重量：  $W_0 = 100 + 75 + 76 = 251 \text{ kg}$

走行速度： 42 m/min （ 3600 rpmのとき ）

### b) 最大けん引力

エンジントルク：  $T_e = 0.76 \text{ kgf-m}$  （ 3.8 ps / 3600 rpm）

駆動トルク $T_k$ は、

$$\begin{aligned} T_k &= T_e \times i \times \eta \\ &= 0.76 \times 42.7 \times 0.81 \\ &= 26.3 \text{ kgf-m} \end{aligned}$$

$T_e$ ：エンジントルク  
 $i$ ：減速比  
 $\eta$ ：効率  
 $R$ ：駆動輪半径

最大けん引力は、

$$\begin{aligned} R &= T_k / R \\ &= 26.3 / 0.06 \\ &= 438 \text{ kgf} \end{aligned}$$

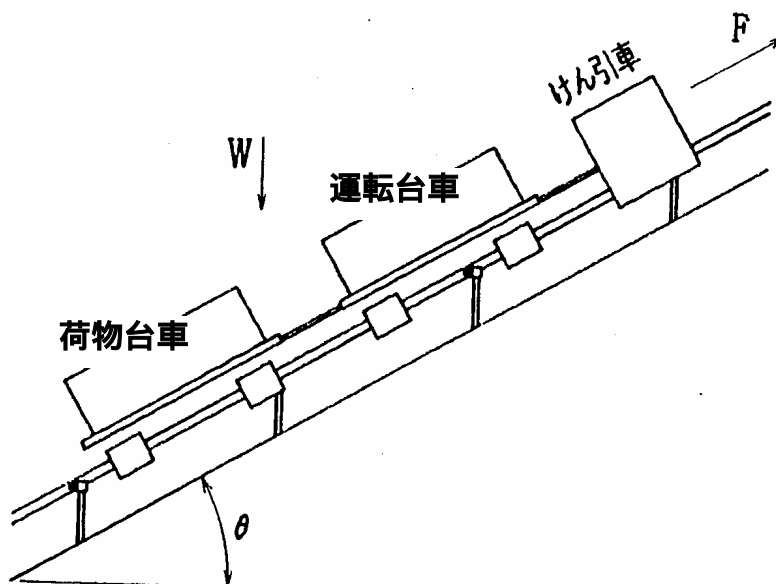


図1

c) 最大積載量

= 30 ° の場合

$$\begin{aligned} W &= F / \sin \theta - W_0 \\ &= 438 / \sin 30^\circ - 251 \\ &= 438 / 0.5 - 251 \\ &= 625 \text{ kg} \end{aligned}$$

= 35 ° の場合

$$\begin{aligned} W &= F / \sin \theta - W_0 \\ &= 438 / \sin 35^\circ - 251 \\ &= 438 / 0.6 - 251 \\ &= 513 \text{ kg} \end{aligned}$$

= 45 ° の場合

$$\begin{aligned} W &= F / \sin \theta - W_0 \\ &= 438 / \sin 45^\circ - 251 \\ &= 438 / 0.7 - 251 \\ &= 369 \text{ kg} \end{aligned}$$

したがって、最大積載量は、

登坂角	30 ° の場合	625	kg
登坂角	35 ° の場合	513	kg
登坂角	45 ° の場合	369	kg

となります。しかし、機械及び施設の強度、その他を考慮して登坂角がいずれの場合も乗車定員1名（80kg×1=80kg）、積載重量120kg以下としてください。

### 3. 架設部材の強度検討

#### a) レールの強度

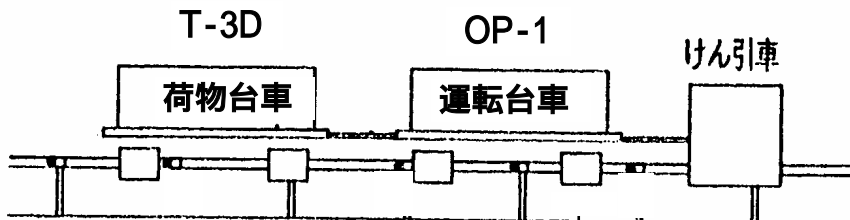


図2

最大荷重は荷物台車にあり，これによりレールの強度を計算する。

$$\begin{aligned} \text{荷物台車総重量} &= \text{最大積載量 ( 120 kg )} + \text{荷物台車 ( 76 kg )} \\ &= 196 \text{ kg} \end{aligned}$$

図2よりレールの中央にかかる最大荷重は，

$$\begin{aligned} W &= 196 / 2 \\ &= 98 \text{ kg} \end{aligned}$$

レール	
サイズ	50 × 50 × 2.3 ( NKAレール )
材質	STKR-400
引張強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )	4100
降伏点 (kgf/cm <sup>2</sup> )	2500
許容引張応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	1400
断面係数：Z (cm <sup>3</sup> )	6.7

引張強さ及び降伏点は「JIS G 3466(1988)一般構造用角形鋼管」の値を適用する。  
許容応力は平均的な値として、「道路橋示方書・同解説 鋼橋編(平成8年12月日本道路協会編)」の値を適用する。なお、他示方書における値との比較は「土木工学ハンドブック 第四版(土木学会編)第24編 鋼構造 第2章部材の設計」を参照のこと。

最大曲げモーメントは，

$$\begin{aligned} M &= W \times l / 4 \\ &= 98 \times 150 / 4 \\ &= 3675 \text{ kgf-cm} \end{aligned}$$

最大曲げ応力は，

$$\begin{aligned} &= M / Z \\ &= 3675 / 6.7 \\ &= 549 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$549 \text{ kgf/cm}^2 < 1400 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (許容応力)}$$

b) 支持ボルトの強度

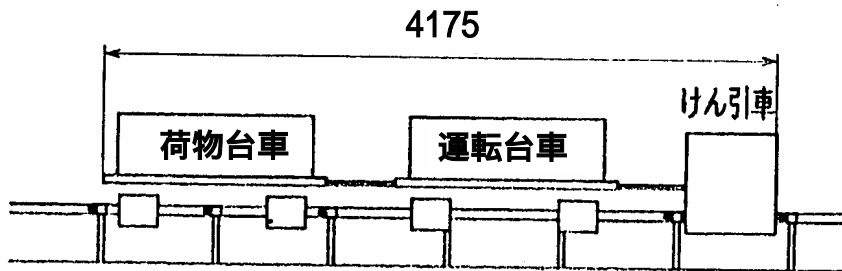


図3

図3からレール上の総重量 $W_1$ はレール長さ4m上、すなわち支柱4本の上に載っていると計算する。

$$\begin{aligned} W &= \text{けん引車} + \text{運転台車 (OP-1)} + \text{荷物台車 (T-3D)} + \text{積荷} \\ &= 100 + 75 + 76 + 120 \\ &= 371 \text{ kgf} \end{aligned}$$

レール4mの重量は

$$W_2 = 20 \text{ kgf}$$

したがって、支柱4本にかかる総荷重は

$$\begin{aligned} W_0 &= W_1 + W_2 \\ &= 371 + 20 \\ &= 391 \text{ kgf} \end{aligned}$$

支持ボルト1本にかかる荷重は

$$\begin{aligned} W &= W_0 / 4 \\ &= 391 / 4 \\ &= 98 \text{ kgf} \end{aligned}$$

最大曲げモーメントは

$$\begin{aligned} M &= W \times L \\ &= 98 \times 2.5 \\ &= 244 \text{ kgf-cm} \end{aligned}$$

最大曲げ応力は

$$\begin{aligned} &= M / Z \\ &= 244 / 0.269 \\ &= 908 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$908 \text{ kgf/cm}^2 < 2100 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (許容応力)}$$

ボルト	
サイズ	M14
材質	S45C
引張強さ	(kgf/cm <sup>2</sup> ) 5800
許容曲げ応力	(kgf/cm <sup>2</sup> ) 2100
断面係数: Z	(cm <sup>3</sup> ) 0.269

引張強さ及び降伏点は「JIS G 4051 機械構造用炭素鋼」の値を適用し、許容応力は「土木工学ハンドブック 第四版(土木学会編) 第24編 鋼構造 第2章 部材の設計」の考え方に従い算出。

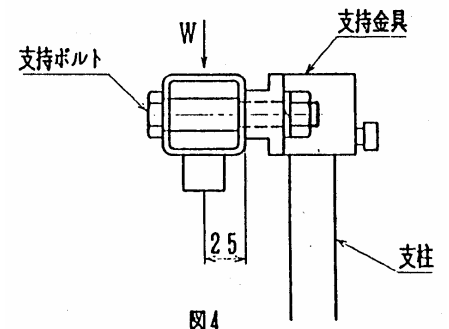


図4

c) 支柱の強度

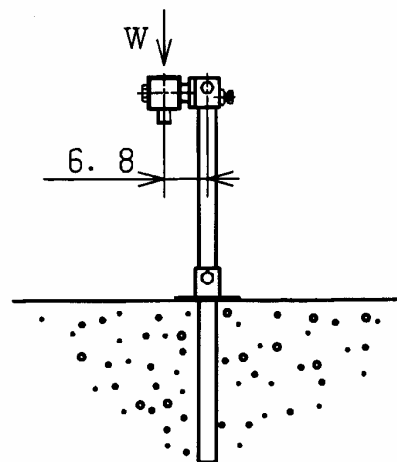


図5

使用パイプ		
サイズ		27.2×2.8 t
引張強さ	(kgf/cm <sup>2</sup> )	3000
許容曲げ応力	(kgf/cm <sup>2</sup> )	850
断面係数：Z	(cm <sup>3</sup> )	1.2
断面二次係数：I	(cm <sup>3</sup> )	1.6

引張強さは「JIS G 3452(1997)配管用炭素鋼鋼管」の値を適用する。  
 許容応力は、降伏点に対する引張強さの安全率1.7とし「土木工学ハンドブック 第四版  
 (土木学会編)第24編 鋼構造 第2章部材の設計」の考え方に従い、 $\gamma = 1.7$ ,  $\gamma = 1.2$ として  
 算出。  $\sigma = \sigma_y / \gamma = 1765 / (1.7 \times 1.2) = 865 \Rightarrow 850$

曲げモーメント

A点のモーメントとB点の曲げモーメントは等しい

$$\begin{aligned}
 M_A &= M_B = W \times 6.8 \\
 &= 98 \times 6.8 \\
 &= 665 \text{ kgf-cm}
 \end{aligned}$$

曲げ応力

$$\begin{aligned}
 &= M_A / Z \\
 &= 665 / 1.2 \\
 &= 554 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$554 \text{ kgf/cm}^2 < 850 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (許容応力)}$$

### 座屈強度

Wは支柱中心より外れているが真上にかかっているものとして考える

### 座屈荷重

$$W_k = \pi^2 EI / 4L^2$$

〔 「土木工学ハンドブック 第四版（土木学会編）第24編 鋼構造 第2章 部材の設計」の式（2.10）及び表-2.4 （自由端-固定端）の有効座屈長より算出。 〕

安全率を5とすると安全荷重は

$$\begin{aligned} W &= W_k / 5 \\ &= \pi^2 EI / 20L^2 \end{aligned}$$

支柱の安全長さは

$$\begin{aligned} L &= \sqrt{\pi^2 EI / 20W} \\ &= \sqrt{( 2.1 \times 10^6 \times 1.6 / 20 / 98 )} \\ &= 130 \text{ cm} \end{aligned}$$

したがって、支柱長さ 130 cm以上のところで補助支柱を取る必要があるが、実施工においては打ち込み深さや地盤固さが理論通りにはならないためより安全のため50cm以上で補助支柱を取ることにする。

d) 支持金具の強度

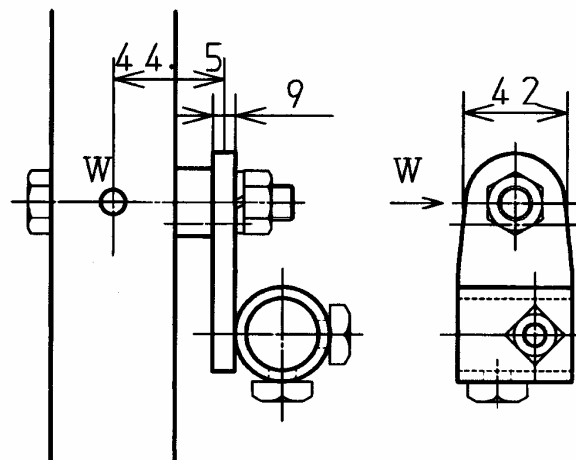


図6

支持金具	
材質	SS400
引張強さ (kgf/cm <sup>2</sup> )	4100
許容せん断応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	800

(「道路橋示方書・同解説 鋼橋編(平成8年12月 日本道路協会編)」に準拠する。)

最大ねじりモーメント

$$\begin{aligned}
 T &= W \times l \\
 &= 98 \times 4.45 \\
 &= 435 \text{ kgf-cm}
 \end{aligned}$$

最大せん断応力は、「機械工学便覧 基礎編(日本機械学会編) A4編 材料力学 第3章 軸」の表19および表20より

$$\begin{aligned}
 \tau_{\max} &= T / ab^2 \\
 &= 435 / ( 0.288 \times 4.2 \times 0.9^2 ) \\
 &= 444 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

a : 長辺  
 b : 短辺  
 : a/bによって決まる値

$$444 \text{ kgf/cm}^2 < 800 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (許容応力)}$$

#### 4. 打ち込み支柱の安定検討

N値は下記の数値を参考にする。

表1-1 砂の種類 (N値と締まり具合)

N値	砂の状態
0 ~ 4	非常に緩い (very loose)
4 ~ 10	緩い (loose)
10 ~ 30	中位の (medium)
30 ~ 50	密な (dense)
50 ~	非常に密な (very dense)

「土木工学ハンドブック 第四版(土木学会編)第26編 基礎構造」の表-2.10に準ずる。

表1-2 粘土の種類 (N値と締まり具合)

N値	粘土の状態	一軸圧縮強さ $qu$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )
0 ~ 2	非常にやわらかい	< 0.25
2 ~ 4	やわらかい	0.25 ~ 0.5
4 ~ 8	中くらい	0.5 ~ 1.0
8 ~ 15	硬い	1.0 ~ 2.0
15 ~ 30	非常に硬い	2.0 ~ 4.0
30 ~	大変硬い	4.0 <

「土木工学ハンドブック 第四版(土木学会編)第26編 基礎構造」の表-2.10に準ずる。

なお、ここでいうN値とは、土質調査で一般的に用いられる標準貫入試験において求まる数値で、63.5kgのハンマを75cmの高さから自由落下させ、サンプラーが30cm貫入するのに要する打撃回数のことである。試験要領を図7に示す。

#### a) 支柱の打ち込み深さ

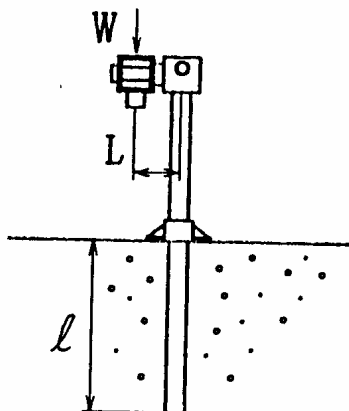


図 8

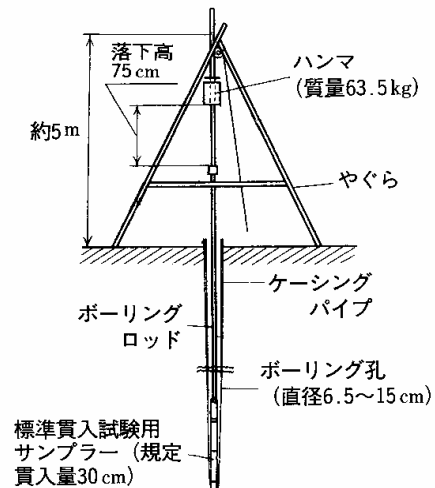


図 7 標準貫入試験

W = 垂直方向の力  
= 98 kgf

L = 支柱からレールまでの距離  
= 6.8 cm

l = 打ち込み長さ

レールにかかる垂直力による曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_1 &= W \times L \\ &= 98 \times 6.8 \\ &= 665 \text{ kgf-cm} \end{aligned}$$

地盤の受動土圧による曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_2 &= w l^2 / 2 \\ &= d \times qu \times l^2 / 2 \\ &= 2.7 \times N \times l^2 / 16 \quad \text{-----} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= \text{地盤の受動土圧 (kg/cm)} \\ &= d \times qu \end{aligned}$$

ただし,

$$\begin{aligned} d &= \text{パイプ径} \\ &= 2.7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} qu &= \text{地盤の極限強度 (kg/cm}^2\text{)} \\ &= N / 8 \quad (\text{"b) 支柱の支持する垂直荷重" の式 より}) \end{aligned}$$

打ち込み深さ  
から

$$l = (16M_2 / 2.7 / N)$$

$M_1 = M_2$ と仮定すると

$$l = (16M_1 / 2.7 / N)$$

$N = 8$  のとき

$$\begin{aligned} l &= (16 \times 665 / 2.7 / 8) \\ &= 22 \text{ cm} \end{aligned}$$

$N = 4$  のとき

$$\begin{aligned} l &= (16 \times 665 / 2.7 / 4) \\ &= 31 \text{ cm} \end{aligned}$$

$N$ 値4~8の地盤で補助支柱を打ち込めない場合は、土質の不均一性等を考慮し、安全をみて打ち込み深さ70cm以上とする。

b) 支柱の支持する垂直荷重

支柱を70cm打ち込んだとすると、支柱1本あたりの極限支持力は  
「土木工学ハンドブック 第四版(土木学会編)第26編 基礎構造 第5章 杭基礎」の  
式(5.3)より

$$Ra = (qd \times Ap + U (li \times fi)) / n \\ = [qd \times Ap + U \times \{ (lc \times fc) + (ls \times fs) \}] / n$$

ここで

Ra = 杭の許容支持力 ( t )

qd = 杭先端地盤の極限支持力度 ( tf/m<sup>2</sup> )

「土木工学ハンドブック」表-5.2の打込み杭の項より, qd / N = 30

N = 杭先端地盤のN値

Ap = 杭の先端面積(m<sup>2</sup>)

$$= \pi \times 0.0135^2 = 0.0006 \text{ m}^2$$

U = 杭の周長

$$= \pi \times 0.027 = 0.1 \text{ m}$$

以下、打込み層は全て粘性土層として考える。

lc = 粘性土層中の杭長

$$= 0.7 \text{ m}$$

fc = 粘性土層中の最大周面摩擦力度 ( tf/m<sup>2</sup> )

「土木工学ハンドブック」表-5.3の打込み杭の項より, fc = N

ls = 砂質土層中の杭長

$$= 0 \text{ m}$$

fs = 砂質土層中の最大周面摩擦力度 ( tf/m<sup>2</sup> )

「土木工学ハンドブック」表-5.3の打込み杭の項より, fs = 0.2N

n = 安全率

「土木工学ハンドブック」表-5.1の常時 鉛直支持力の項より, n = 2 ~ 4  
であるので, n = 3 とする。

N = 8 のとき

$$Ra = [ 30 \times 8 \times 0.0006 + 0.1 \times (0.7 \times 8 + 0) ] / 3 \\ = 0.204 \text{ t} \\ = 204 \text{ kg}$$

N = 4 のとき

$$Ra = [ 30 \times 4 \times 0.0006 + 0.1 \times (0.7 \times 4 + 0) ] / 3 \\ = 0.102 \text{ t} \\ = 102 \text{ kg}$$

### 沈下防止板が受ける垂直荷重

地盤の耐力は場所または土質により変わるが、表1-2より極限強度 $q_u$ を推定すると $q_u = N / 8$  (kgf/cm<sup>2</sup>)(式 )によりほぼ求めることができる。

沈下防止板 ( 100 × 100 ) 1枚あたりの支持力は

$$\begin{aligned} N &= 8 \text{ のとき} \\ W &= q_u \times A \\ &= 8 / 8 \times 10 \times 10 \\ &= 100 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= 4 \text{ のとき} \\ W &= q_u \times A \\ &= 4 / 8 \times 10 \times 10 \\ &= 50 \text{ kg} \end{aligned}$$

支柱が支持する荷重は、支柱によるものと沈下防止板によるものの合計となる。

$$\begin{aligned} N &= 8 \text{ のとき} \\ W_T &= 204 + 100 \\ &= 304 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= 4 \text{ のとき} \\ W_T &= 102 + 50 \\ &= 152 \text{ kg} \end{aligned}$$

支柱に掛かる最大荷重は 98 kgより、このときの安全率SFは

$$\begin{aligned} N &= 8 \text{ のとき} \\ SF &= 304 / 98 \\ &= 3.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= 4 \text{ のとき} \\ SF &= 152 / 98 \\ &= 1.6 \end{aligned}$$

したがって、普通の地盤 ( N値=4 ~ 8 ) の場合、70cm以上打込み深さがあれば補助支柱がなくても最大荷重を支持することができる。