

鋼管強制転送装置「マグシフター」の開発

Development of the Forced Pipe Transfer Control System "MAGSHIFTER"

近年、パイプラインや各種配管などに使用される鋼管の需要が増加しており、鋼管製造部門では鋼管移送の自動化、省力化が図られつつある。

鋼管の移送ラインによっては、曲りや表面に突起のある鋼管及びワニスコーティング鋼管にワニスの粘着力などがあると、スキッドライン途中で鋼管が停滞し、生産に支障を来すおそれがある。

本稿では、電磁力の吸引力により鋼管に駆動力を与え、鋼管の停滞を防止する強制転送装置の機能と特長について、事例を交じえて紹介する。

佐藤勝俊* Katsutoshi Satô

伊東 将* Susumu Itô

金谷 忠* Tadashi Kanaya

1 緒 言

一般に製鉄所などでの鋼管製造部門では、鋼管の移送にローラテーブル、アタッチメント付チェーンコンベヤなどを用いて一つのラインを構成し、ライン間の移送や前後の機械加工装置の待ち時間調整、検査、マーキングなどに供するため、所定の位置に一時鋼管を蓄える傾斜を付けたスキッドレールを複数本配設している。鋼管はこのスキッドレール上を重力により横方向に自由落下転動されるが、次々に鋼管を流すとスキッド上で鋼管同士が衝突して衝撃音を発生する。これらの衝撃音は、鋼管であるがために音のエネルギーが大きく、騒音となって遠くまで響き渡り、周囲の職場環境保全上はもちろん、ときには騒音環境問題となっている。これらの騒音を抑制する装置として、日立製作所はユーザーとの共同開発で、低騒音鋼管搬送装置「マグネスキッド」を製品化し既に各方面で使用されている。「マグネスキッド」は傾斜面を自由落下転動する鋼管に対し、制御された制動力を与えて低速度搬送を行なうものであるが、従来、衝突音をできるだけ小さくすると同時に、鋼管の変形や打ちきずを防止するため、スキッドの傾斜はできるだけ小さく構成されてきた。

したがって、「マグネスキッド」を適用しようとしても、傾斜が小さいことによる自由落下転動力が不足しているため無理があった。更に、表面に突起や曲りの大きな鋼管や、また防錆剤塗布鋼管の粘着力などがある場合は、自由落下転動力が小さく、スキッド上で停滞し、次々に流れてくる鋼管の搬送を妨げ生産に支障を来して、ときには人力による補助駆動を必要としていた。

本稿で以下説明する装置は、スキッドレールと併設して電磁石群を設け、この電磁石を一定の時間間隔で順次励磁し、電磁石の磁気吸引力により駆動力を得て鋼管を強制的に転送し、生産ライン途中での停滞を防止する従来にない可動部を全くもたない搬送装置である。

2 鋼管工場における搬送の現状と問題点

2.1 傾斜スキッド方式における搬送の問題点

傾斜スキッド上を鋼管を転がしながら移送する方法は、ローラテーブル、チェーンコンベヤといった機械的搬送手段に比べ、鋼管自身の自由落下による物理現象をそのまま利用したもので、最も安価で確実な搬送手段といえる。しかし、鋼

管は転がるに従い速度を増していき、いったん転がり出した鋼管を停止させるには斜面の途中に機械的ストッパを設けてこれに衝突させるか、あるいは静止している他の鋼管と衝突させて停止させる方法が従来とられてきた。この衝突時に大きな騒音が生じ、また打ちきずや擦りきず、変形、スキッドの摩耗などが発生する。従来は、これらを防止するため傾斜をできるだけ小さくしてラインを構成していたが、同一ラインで重量が1:20～1:30に及ぶ鋼管を流すため、小径の軽量のものはどうしてもスキッド上で停滞しやすい。この停滞を防ぐため、従来方法である初速度による慣性を付けてスキッド上へ搬入し、鋼管同士を衝突駆動させるといった製品品質上からも好ましくない方法がやむを得ず取られてきている現状にある。衝突による騒音を防止する方法は、前述したように各方面で「マグネスキッド」が採用されているが、前後テーブルの関係から傾斜を変更できないスキッドの場合その適用が困難であり、また傾斜を変えようとする、多額の費用を伴う。このような情勢から、低勾配ライン、UOパイプなど溶接ビードによる突起がある場合や防錆剤塗布鋼管の粘着力がある場合などに、スキッドの停滞をなくす強制的な転送装置の早期実現が強く望まれていた。

2.2 傾斜スキッド方式による転送必要条件

2.2.1 初速度零で必ず転動する理論勾配

いま図1に示すように、真円の曲りのない鋼管が傾斜角 θ をもつスキッドレール上にあるとき、重心Gの回りのモーメントを M とすれば、

$$\left. \begin{aligned} M &= f_0 \cdot N \\ N &= Mg \cdot \cos \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここで N : 垂直抗力(kg)
 f_0 : 転がり摩擦係数(m)
 Mg : 鋼管重量(kg)

で表わされる。

この転がりモーメント M が重心Gに加えられる回転力 F_F (斜面方向の摩擦力)によって加えられるものとすれば、鋼管の半径を r として、

$$F_F = \frac{M}{r} = \frac{f_0 \cdot N}{r} = \frac{f_0 \cdot Mg \cdot \cos \theta}{r} \dots\dots\dots(2)$$

で表わされる。

* 日立製作所大みか工場

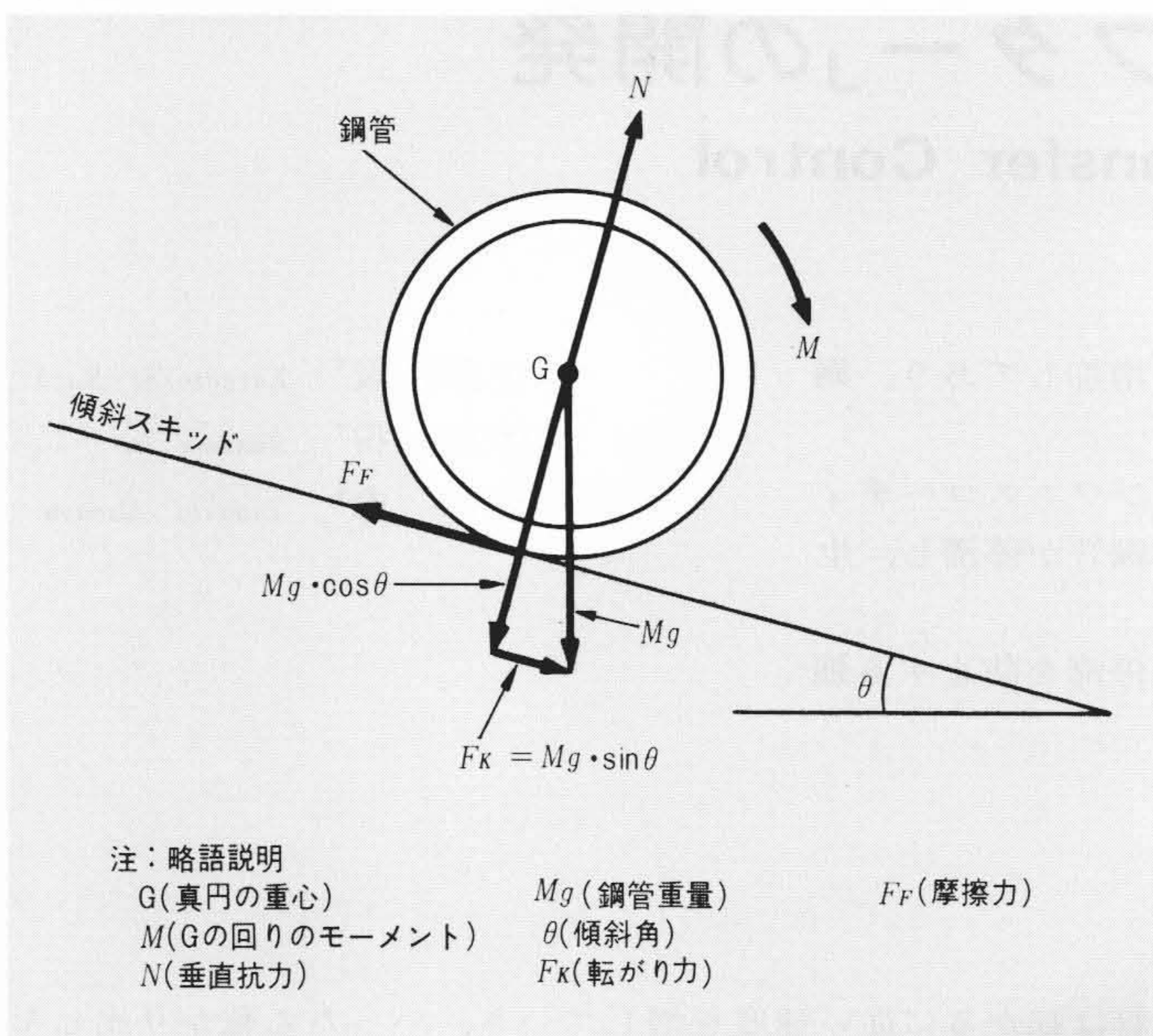


図1 あらい斜面での鋼管の転がり運動 あらい斜面で鋼管が滑らずに転がる理論勾配は、転がり摩擦係数によって決まる〔本文(3)式参照〕。

鋼管が停止しない条件は、斜面方向の転がり力 F_K と摩擦力 F_F の比が1.0以下であればよい。

したがって、鋼管が滑らずに転がるのに必要な勾配は、

$$\frac{F_F}{F_K} = \frac{\frac{f_0}{r} \cdot Mg \cdot \cos \theta}{Mg \cdot \sin \theta} = \frac{f_0}{r \cdot \tan \theta} \leq 1.0$$

$$\tan \theta \geq \frac{f_0}{r} \dots\dots\dots(3)$$

で表わされる。

実際には、鋼管に曲りがあるため重心位置が変わり、上記勾配で鋼管は転動しない。更に、鋼管表面に溶接ビードなどの突起がある場合や、未乾燥の防錆剤塗布鋼管の粘着力などがある場合、(3)式の転がり摩擦係数が大きくなり、自由落下転動するための勾配は大きくする必要がある。

2.2.2 実用的なスキッドの必要勾配

(1) 鋼管に曲りがある場合

日立製作所では、鋼管に曲りのある場合の必要勾配 $\tan \theta_a$ を求めるのに、経験的に実用的な次式を得ている。

$$\tan \theta_a \geq \frac{2}{r} \cdot \left(\frac{x}{1,000} \right) \cdot L_p \cdot \beta \dots\dots\dots(4)$$

ここで $\frac{x}{1,000}$: 鋼管の曲り x (mm)

L_p : 鋼管の長さ(mm)

β : 鋼管スパイラル曲りによる修正係数
(鋼管の外径により変わり、鋼管転動実験により求めた係数)

(2) 鋼管に突起がある場合

UOパイプなどのように、表面に突起がある場合の必要勾配 $\tan \theta_b$ は図2を用いて解くと、

$$\tan \theta_b \geq \frac{f^2}{(2r+y)S_0} \dots\dots\dots(5)$$

ここで y : 突起の高さ(mm)

S_0 : 転がり距離(mm)

f : $\sqrt{(r+y)^2 - r^2}$ (mm)

(見掛けの転がり摩擦係数)

で表わされる。

したがって、鋼管に曲りと突起がある場合の必要勾配は、

(4)、(5)式を加えた勾配 $\tan \theta_{ab}$ となる。

鋼管の停滞を防止するには、必要勾配は、 $\tan \theta_{ab}$ から既設スキッド勾配 $\tan \theta_0$ を差し引いた(6)式で表わされる勾配 $\tan \theta_c$ (勾配の不足分)を補償すればよい。

$$\tan \theta_c = (\tan \theta_a + \tan \theta_b) - \tan \theta_0 \dots\dots\dots(6)$$

(6)式の補償勾配に相当する外力 F_M を与えれば、鋼管を停滞させずに転送できる。

(3) 防錆剤塗布鋼管の粘着力がある場合

図2で防錆剤が表面に塗布されている場合、防錆剤による粘着力が作用するため、摩擦力が大となり見掛けの転がり摩擦係数 f が非常に大きくなる。スキッド上に鋼管が停滞し防錆剤が乾燥してしまうと、鋼管同士又は鋼管とスキッドレールがワニスによりブリッジしてしまい動かなくなるので、通常は未乾燥状態若しくは半硬化してから移送している。ワニ

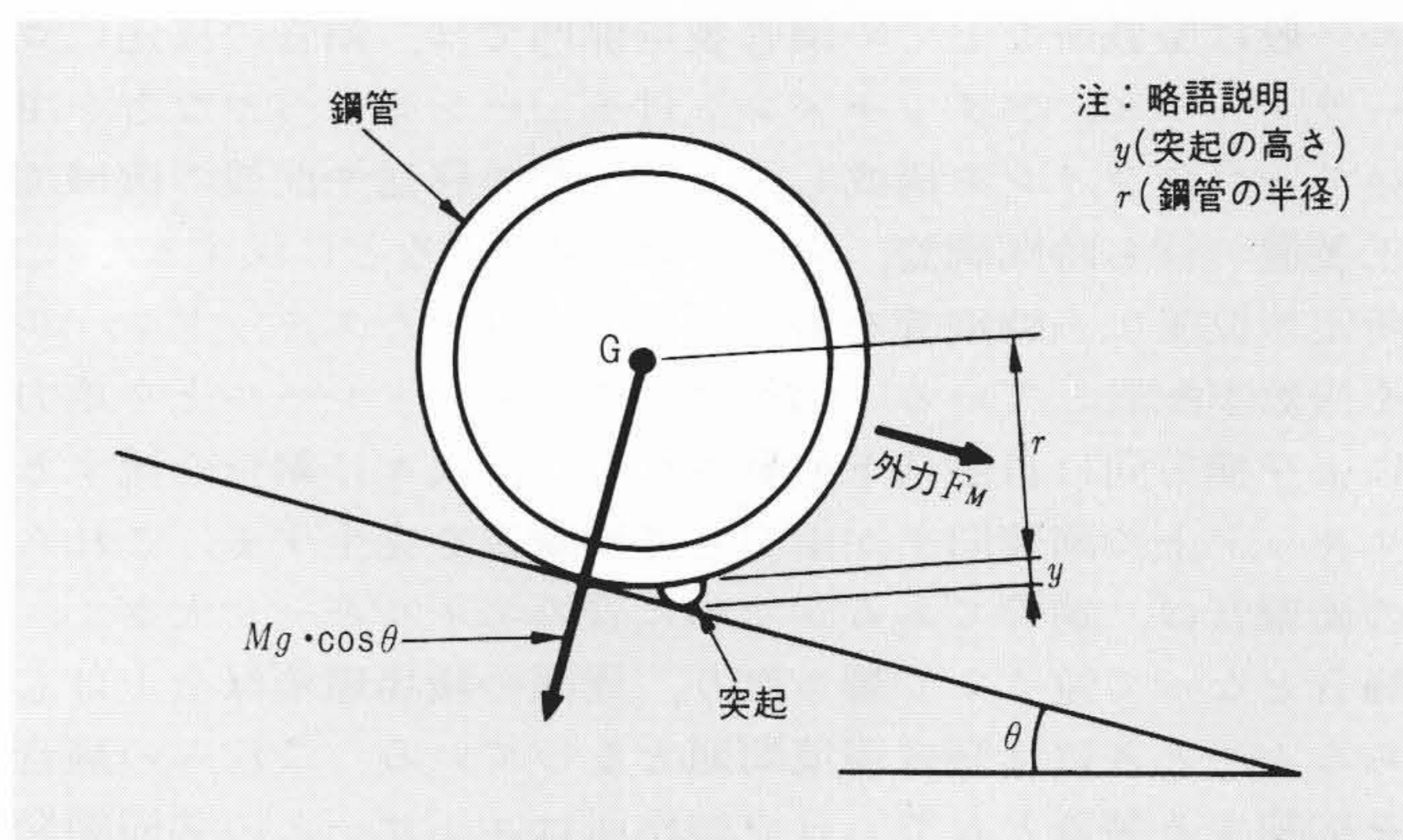


図2 表面に突起がある場合の鋼管の転がり 溶接ビードなどの突起があると見掛けの転がり摩擦係数が大きくなり、傾斜角 θ に抑えた場合、突起を乗り越える相当した外力 F_M を与えねばならない。

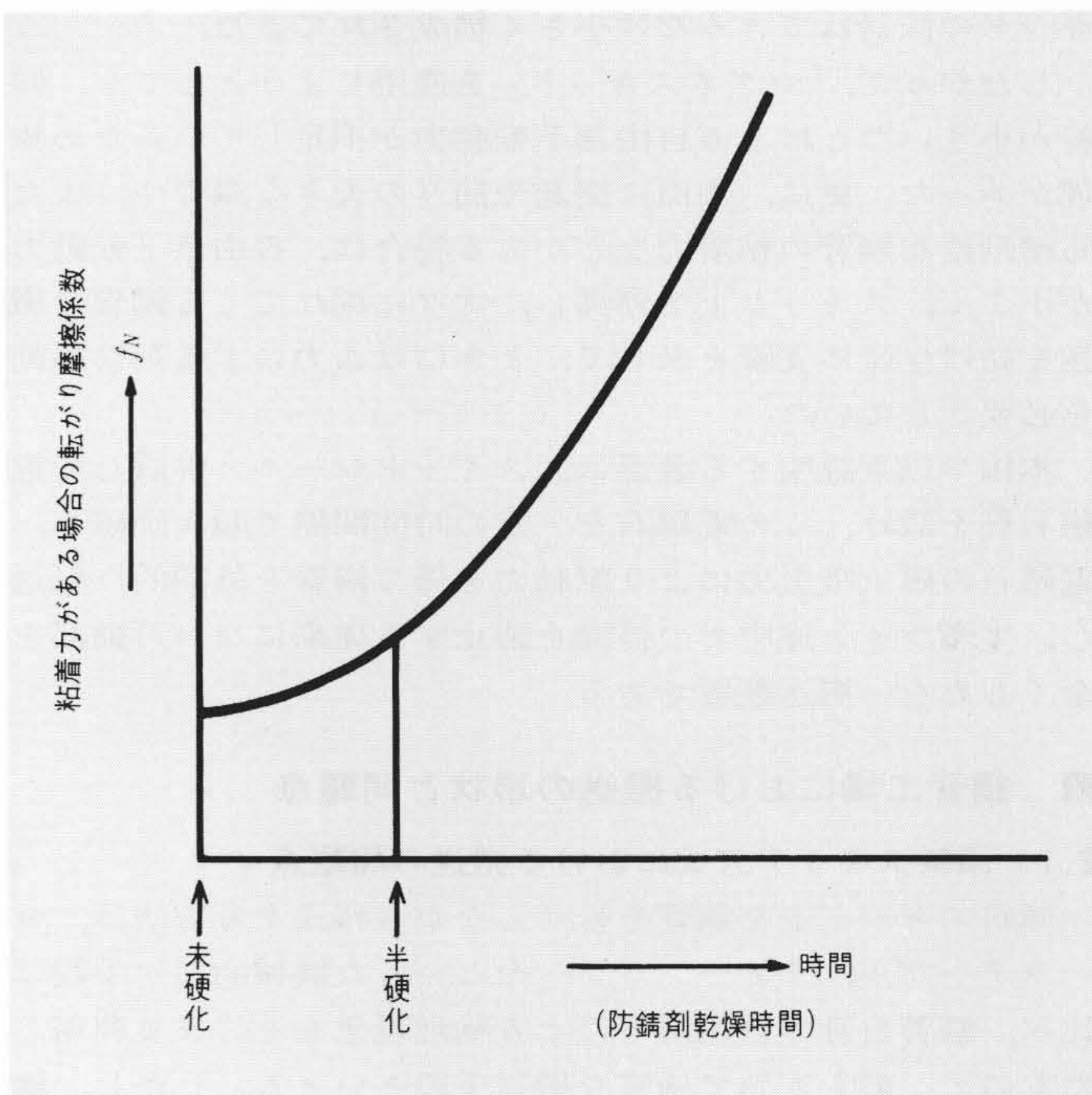


図3 防錆剤塗布鋼管の転がり摩擦係数 防錆剤の粘着力が時間に対し2~3乗で増加するため、ワニスが半硬化以内で鋼管の移送処理を必要とする。ただし、この場合でもワニスの突起を考慮して図2に示した外力を必要とする。

スの粘着力による摩擦係数 f_N は、図3に示すように2～3乗曲線で増大していく。この場合、必要勾配は(5)式の f の代わりに f_N を代入すればよい。

3 「マグシフター」の原理と構造

3.1 鋼管に作用する磁気吸引力

いま傾斜スキッド面に沿って、図4に示すようなマグネットを $M_1, M_2, M_3, \dots$ のように多数配列したモデルを考える。各マグネットは各々独立した磁気回路をもつようにコモンベースと各マグネット間には非磁性材が設けられている。

図4で鋼管が M_1 マグネット近傍にある状態で、 M_2 マグネットが励磁されたとすると、鋼管には磁気吸引力 P が作用する。

この磁気吸引力の斜面方向分力は、マグネット M_2 による転送力 F_M となりベクトル角を α とすれば、

$$F_M = P \cdot \cos \alpha \quad \dots\dots\dots(7)$$

で表わされる。

曲りや突起などによるスキッド上での鋼管の停滞を防止するために、必要な補償勾配は(6)式で求めたが、この補償勾配 $\tan \theta_c$ に相当する斜面方向の転送力が、必要とする磁気吸引力である。

必要とする磁気吸引力 P は、次式により求められる。

$$P = \frac{Mg \cdot \sin \theta_c}{\cos \alpha} \quad \dots\dots\dots(8)$$

(8)式で決まる磁気吸引力 P は、ベクトル角 α ができるだけ小さくしたほうが少なくよく、またマグネットの間隔をできるだけ離すためにも、磁極先端は鋼管の重心に対向するように斜めにカットした構造がよい。鋼管が M_2 マグネットに近づくにつれて P の斜面方向の成分がなくなり、磁極先端付近で P の垂直成分だけとなって鋼管は停止する。鋼管が突起によって、 M_1 マグネット上で停滞しても $M_1, M_2, M_3, \dots$ と次々にマグネットの励磁を切り換えていけば独立した吸引力 P が各マグネットで得られるため、強制的に転送されていく。さて、斜面方向に磁気吸引力 F_M を作用させ、鋼管を強制的に転送さ

せる場合の運動は、図4から明らかに、

$$M \cdot \frac{dv}{dt} = Mg \cdot \sin \theta + F_M - F_F \quad \dots\dots\dots(9)$$

(9)式を解くと速度 v は次式で表わされる。

$$v = \left\{ g(\sin \theta + \sin \theta_c) - \frac{F_F}{M} \right\} \cdot t \quad \dots\dots\dots(10)$$

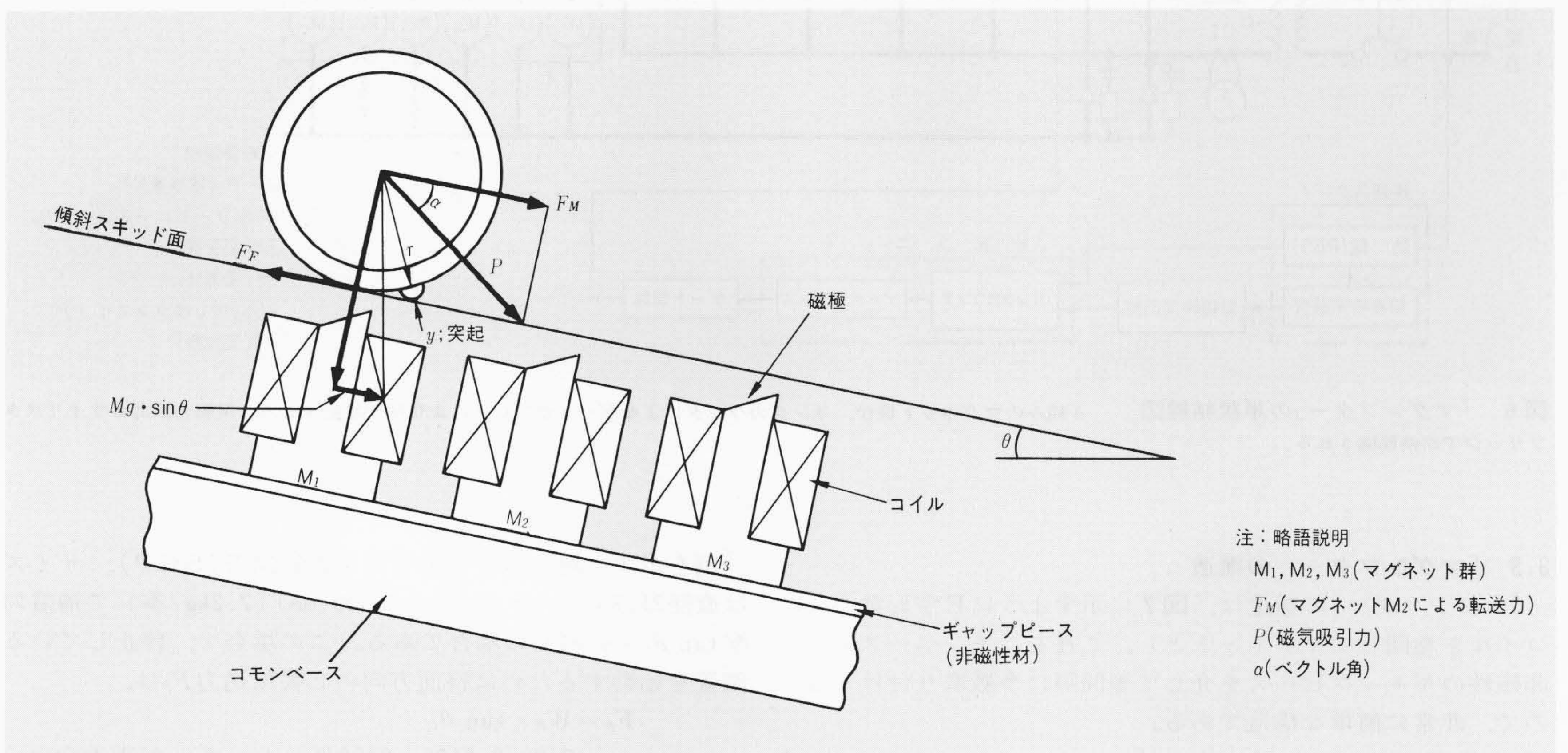
(10)式内の摩擦力 F_F による減速力は突起があるため、非常に大きくこれを補うのが $g \cdot \sin \theta_c$ の補償勾配による強制的な転送力である。

3.2 「マグシフター」の制御方法

図5(a)に示すように、スキッド長手方向に配置されたマグネットを、例えば三つのグループA, B, Cに分割し、Aグループを $M_{11}, M_{21}, M_{31}, \dots$ 、Bグループを $M_{12}, M_{22}, M_{32}, \dots$ 、Cグループを $M_{13}, M_{23}, M_{33}, \dots$ のように接続する。マグネットの励磁順序は、鋼管の移送方向(矢印)に図5(b)に示すようにAグループ $M_{11}, M_{21}, M_{31}, \dots$ 、を t_1 時間だけ、次にBグループ $M_{12}, M_{22}, M_{32}, \dots$ 、を t_2 時間だけ、次にCグループ $M_{13}, M_{23}, M_{33}, \dots$ 、を t_3 時間だけそれぞれ励磁し、順次切り換えていく方法をとる。したがって、各マグネットは T 秒間隔で励磁される。A, B, Cのマグネット群の励磁切換時間 t_1, t_2, t_3 は通常は等しくするが、鋼管のサイズや表面状態を考慮して、最も強制転送力 F_M を効率良く得るため、 t_1, t_2, t_3 の各時間はオーバーラップすることも可能である。

以上述べたように、各マグネットを順序切換していくと、鋼管は図5(c)に示すように低速度で強制的に転送されていくことになる。マグネットをグループ分けするメリットは、スキッド上で複数本同時に搬送する場合に、各鋼管にできるだけ早く強制転送の機会がくるようにしたことにもある。

図6は実用化した「マグシフター」のスケルトン図で、マグネット群は6グループに分割されている。各マグネット群の切換はリングカウンタによりゲートサプレスを行ない、6組みの単相全波混合サイリスタブリッジを駆動することにより行なっている。



注：略語説明
 M_1, M_2, M_3 (マグネット群)
 F_M (マグネット M_2 による転送力)
 P (磁気吸引力)
 α (ベクトル角)

図4 「マグシフター」の原理説明図 独立したマグネットが傾斜スキッド面に沿って配列されており、各マグネットが斜面方向に転送する力 F_M を発生し、鋼管は突起とか曲りなどで一時的に停滞しても強制的に転送される。

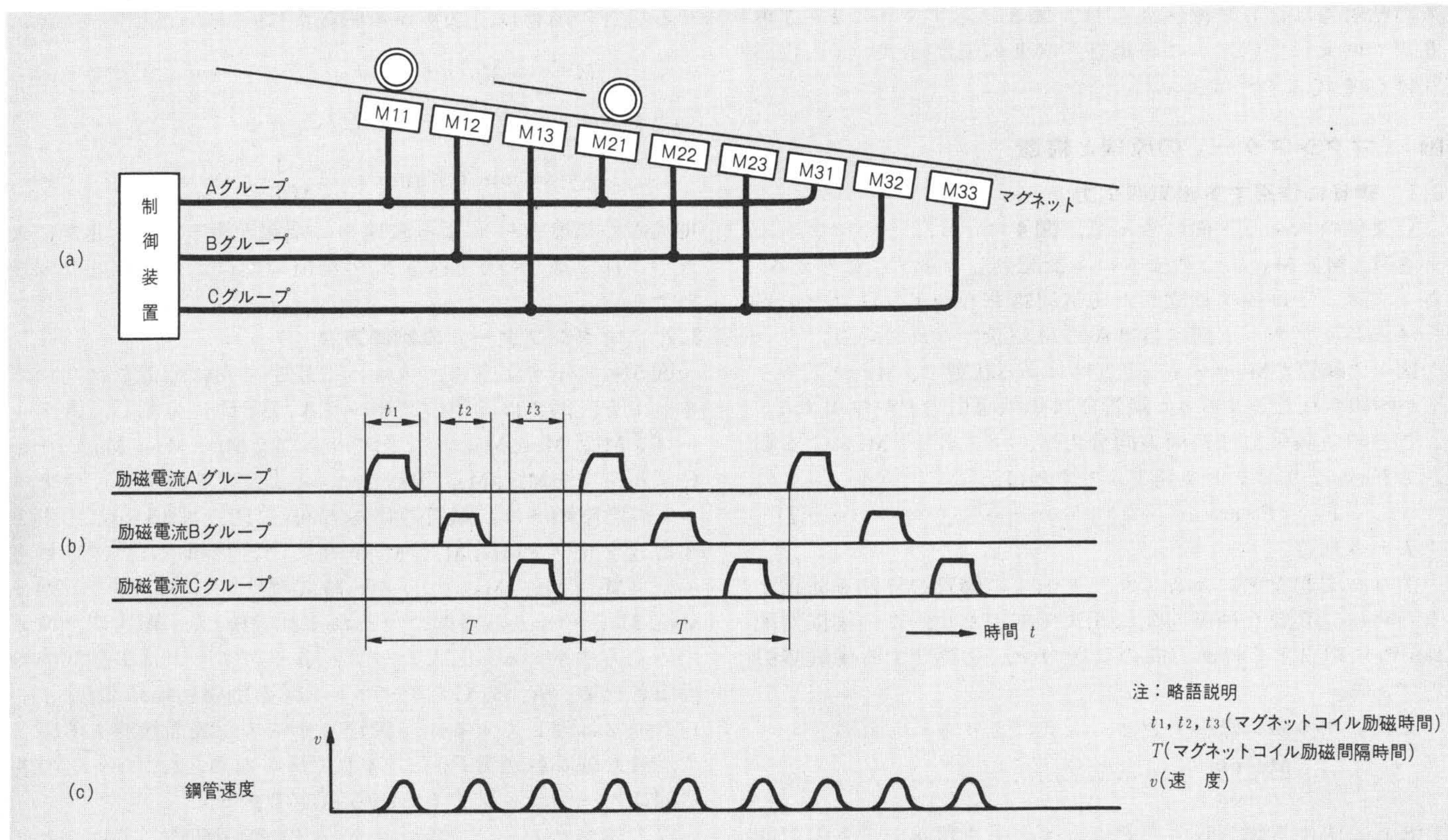


図5 「マグシフター」の制御方法 傾斜スキッド面に沿って配列されたマグネットをグループ分けにして、各マグネット群を切換励磁していくと、鋼管は低速度で転動—停止を繰り返しながら搬送されていく。

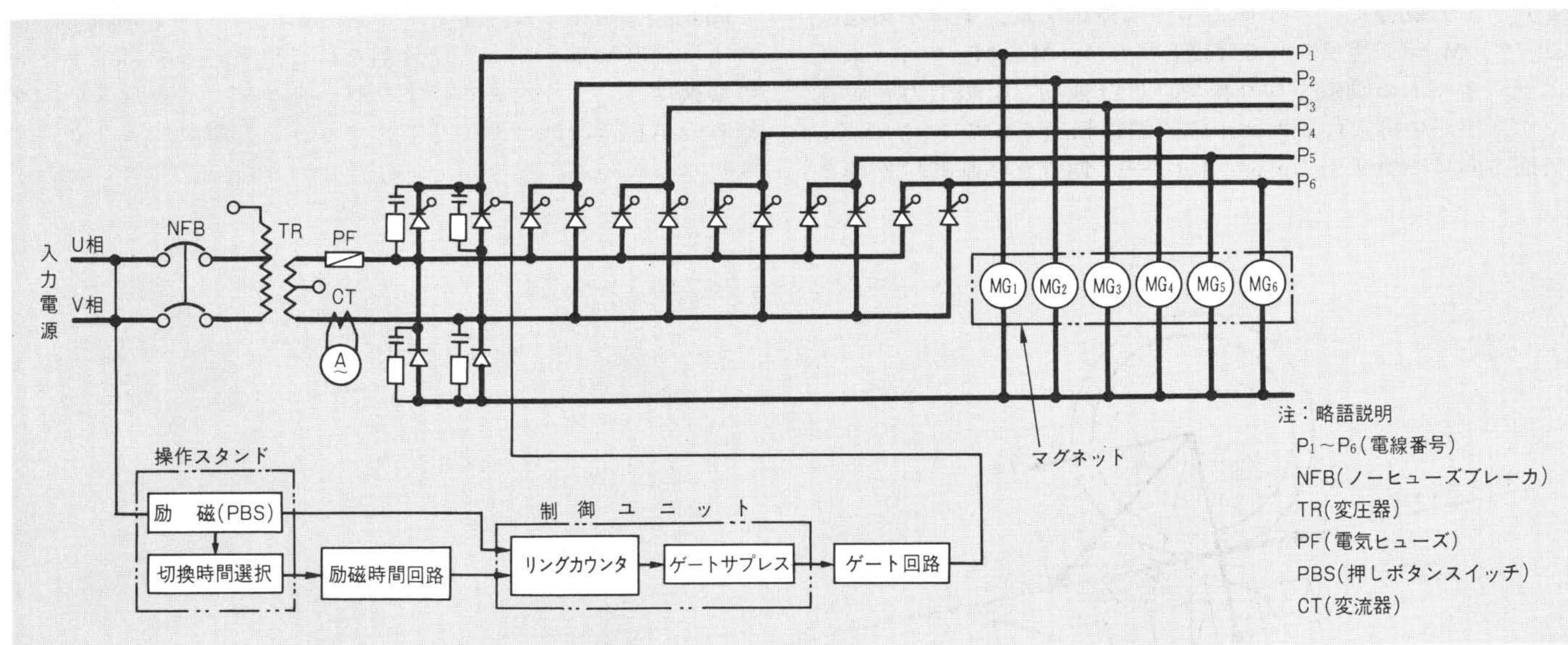


図6 「マグシフター」の単線結線図 6組みのマグネット群が、リングカウンタによるゲートサプレッスにより順次駆動される。単相全波混合サイリスタブリッジで切換励磁される。

3.3 「マグシフター」の構造

「マグシフター」の構造は、図7に示すようにE字形鉄心にコイルを巻回してマグネットとし、これをコモンベース上に非磁性のギャップピースを介して等間隔に多数取り付けただけのもので、非常に簡単な構造である。

4 「マグシフター」の鋼管転送能力

図8に、小径鍛接管用「マグシフター」の鋼管転送能力の

一例を示す。対象鋼管は配管用炭素鋼鋼管(SGP)、サイズは直径21.7×厚み2.8×長さ5,500(mm)〔7.2kg/本〕で補償勾配 $\tan \theta_c = 0.0125$ の場合である。この場合で、停止している鋼管を始動するために斜面方向の必要転送力 F_p は、

$$F_p = W_p \times \tan \theta_c$$

$$= 7.2 \times 0.0125 = 0.09 (\text{kg})$$

となり、斜面方向に0.09kg以上の力を与えれば停止したパイプが始動する。

次に「マグシフター」のもつ転送能力について検討する。

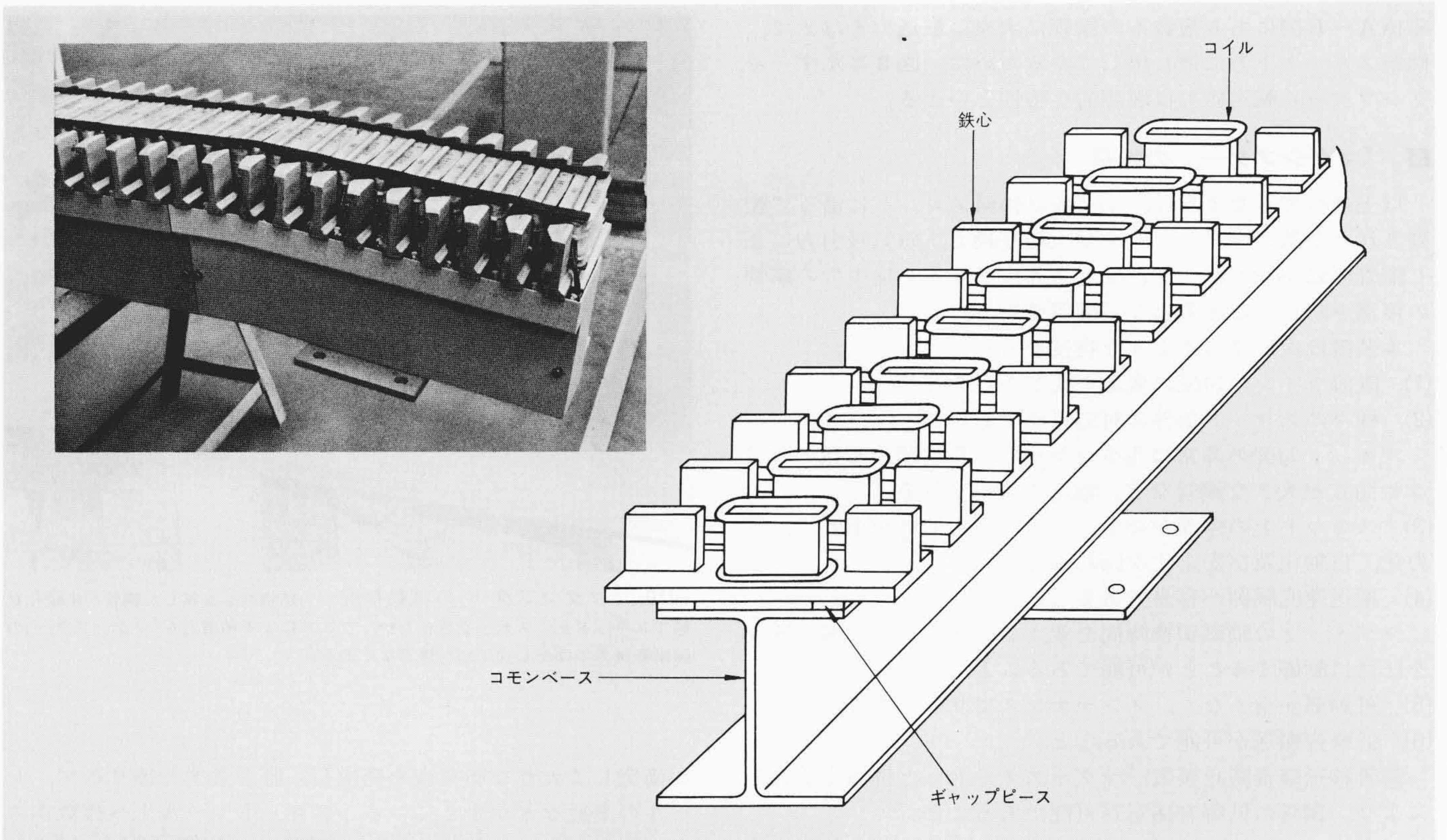


図7 「マグシフター」の構造 E字形鉄心にコイルを巻回し、これをコモンベース上にギャップピースを介して等間隔に多数取り付け付けたものである。

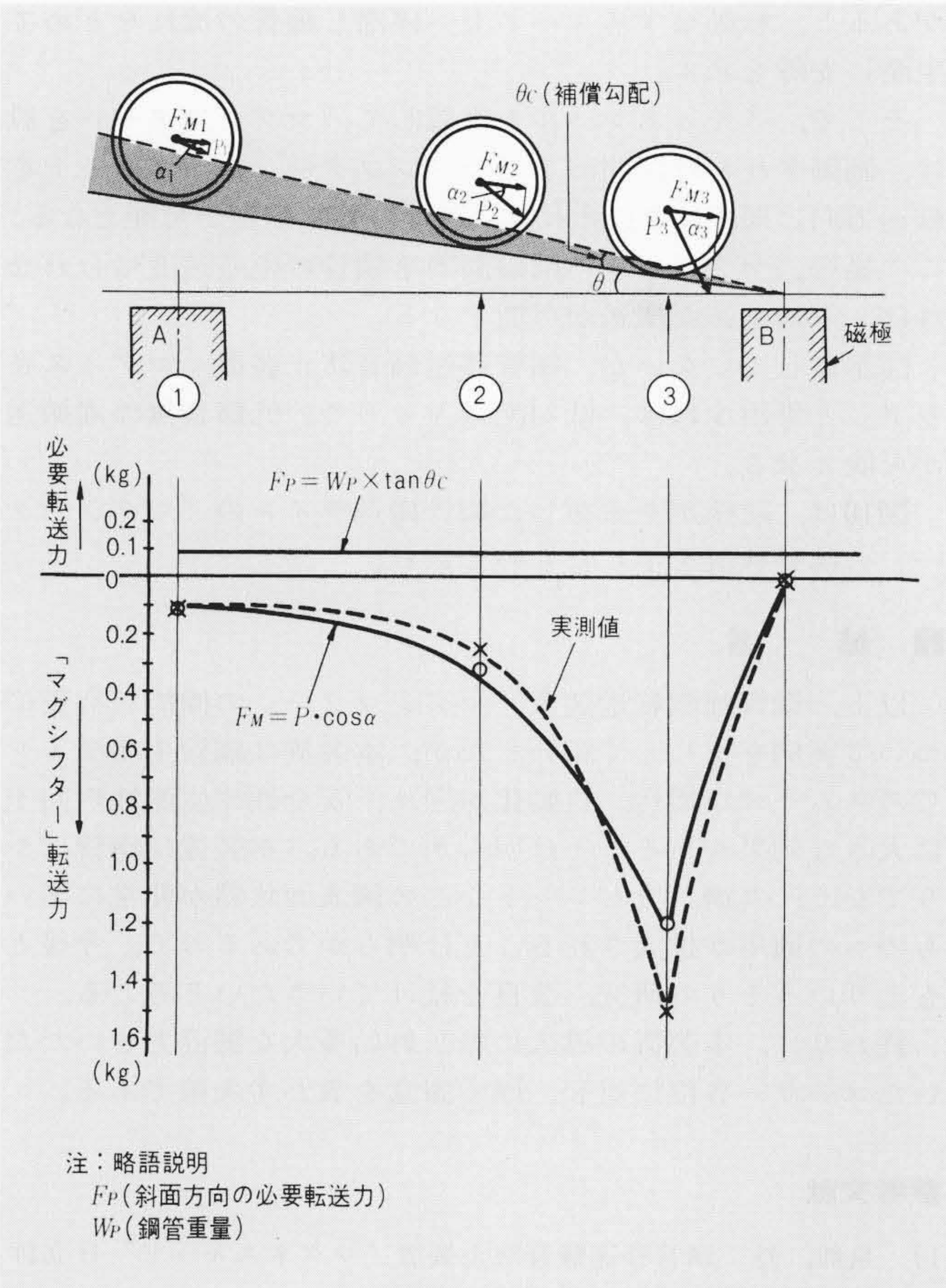


図8 「マグシフター」の鋼管転送能力 鋼管の各位置での「マグシフター」の転送力を示す。

「マグシフター」は、図7の構造に示したように各々独立した磁極を整列させ構成されているので、被転送鋼管と磁極の相対位置の関係により、「マグシフター」の発生する転送能力は大きな差がある。図8内に示している鋼管の位置、すなわちA磁極中心①、磁極間の中心②、B磁極手前③の各々について計算で求めると次のようになる。

(1) 位置①における「マグシフター」の転送力 F_{M1}

$$F_{M1} = P_1 \cdot \cos \alpha_1 \\ = 0.105 \times 0.949 = 0.1(\text{kg}) \text{ となる。}$$

ここで $\begin{cases} P_1: \text{位置①における磁気吸引力} \\ \alpha_1: \text{位置①における磁気吸引力と転送力のベクトル角} \end{cases}$

(2) 位置②における転送力 F_{M2}

$$F_{M2} = P_2 \cdot \cos \alpha_2 \\ = 0.39 \times 0.82 = 0.32(\text{kg})$$

(3) 位置③における転送力 F_{M3}

$$F_{M3} = P_3 \cdot \cos \alpha_3 \\ = 3.04 \times 0.39 = 1.2(\text{kg}) \text{ となる。}$$

また、各位置での実測値は位置①で0.1kg、位置②で0.25kg、位置③で1.5kgとなり、計算値と実測値との対応がよくとれている。

上記の結果、図8から明らかなように「マグシフター」の転送力 F_M は鋼管がどの位置にあっても0.09kg以上あれば磁極A～B間にある1本の鋼管を確実に始動できる。しかし、スキッドレールは鋼管を多数滞留させるためのバッファゾーンとしながら、かつ同時に鋼管を順次搬送(例: 1,800本/h)する目的があり、小径管の場合は特にスキッド上に常に満載されながら動いているのが普通である。この場合、1本の鋼管を辛うじて動かす転送力では鋼管搬送処理能力が追従できず、

磁極A～B間にある複数本の鋼管に次々に転送力を与えて、傾斜スキッド下方に押し出してやるために、図8に示す「マグシフター」転送能力は理想的な特性といえる。

5 「マグシフター」の特長

以上述べてきたように、本装置は傾斜スキッドに沿って配列された多数のマグネットを順次切り換え、磁気吸引力により鋼管の転がり力を増加させ、スキッドライン途中での鋼管の停滞を防止する従来にない装置である。

本装置は次に述べるような特長をもっている。

(1) 既設ラインの勾配の変更を要しないこと。

(2) 種々のスキッド条件に対応可能であること。

スキッド勾配の非常に小さいライン、防錆剤塗布後のラインや曲りが大きな鋼管など、幅広く適用できる。

(3) スキッド上の停滞がなく、人手による補助が不要で、省力化、自動化及び安全化が図れること。

(4) 搬送速度制御が容易であること。

マグネットの励磁切換時間を変えることにより、搬送速度を任意に制御することが可能であること。

(5) 可動部が全くなく、メンテナンスフリーであること。

(6) 低騒音搬送が可能であること。

鋼管移送騒音防止装置「マグネスキッド」と併設することにより、鋼管の低騒音搬送が可能であること。

以上述べたように、鋼管生産ラインでのスムーズな搬送と自動化、及び省力化、更に安全性向上が容易に図ることができる。

6 適用例

代表的な鋼管強制転送装置を適用したスキッドラインの一例を、図9に示す。

通常、鋼管は搬入キッカにより初速度を与えられて、スキッドレール上へけり出され、この慣性力でスキッド上を転動しストッパまで移動する。次々に鋼管を移送すると鋼管同士

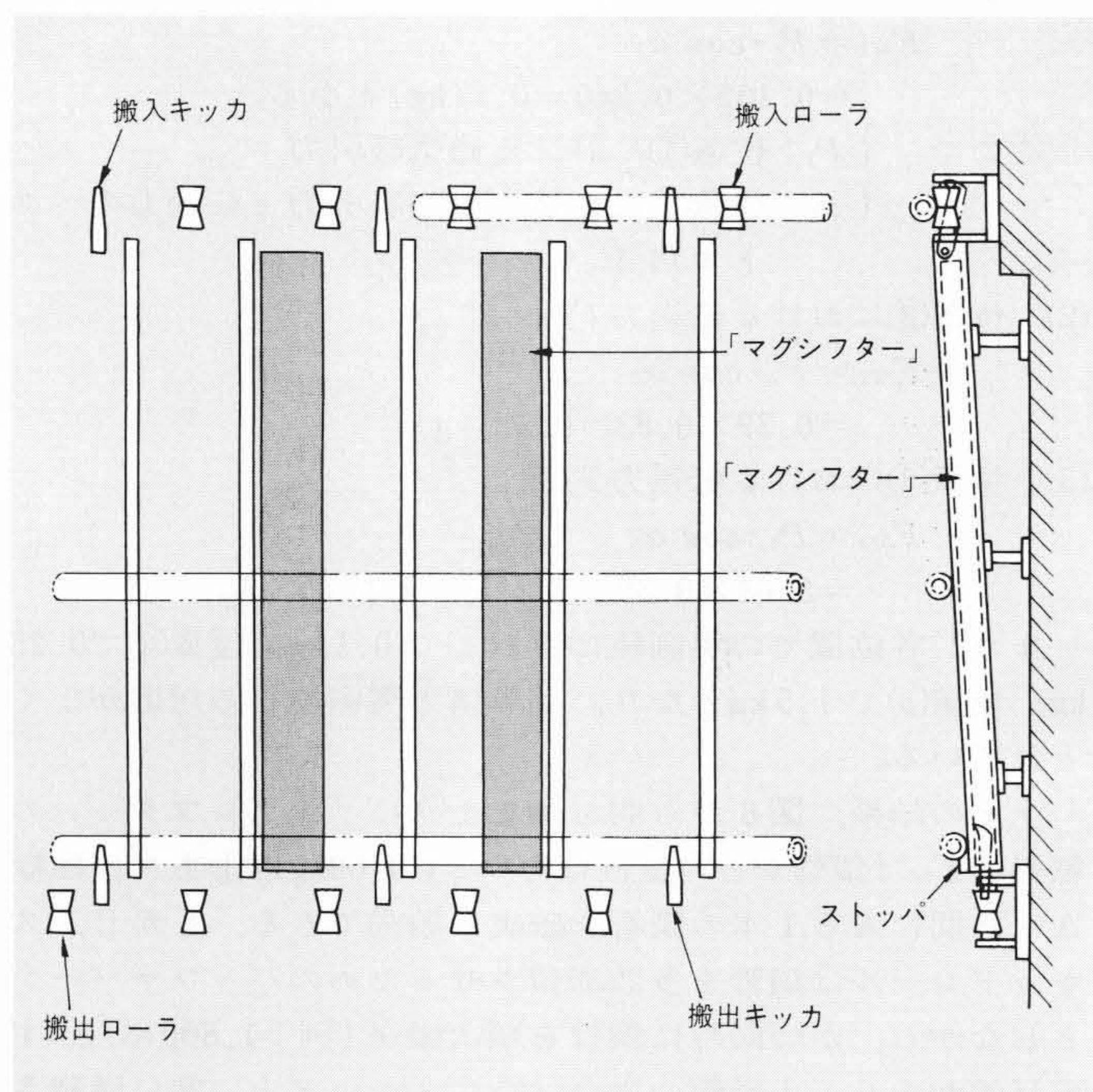


図9 「マグシフター」の適用例 「マグシフター」はスキッドレールに沿って通常2～3mmスキッドレールから下に取り付けられ、曲りや突起で停止した鋼管を、あらかじめ制御された時間間隔でマグネットを転送方向に切り換え強制転送する。

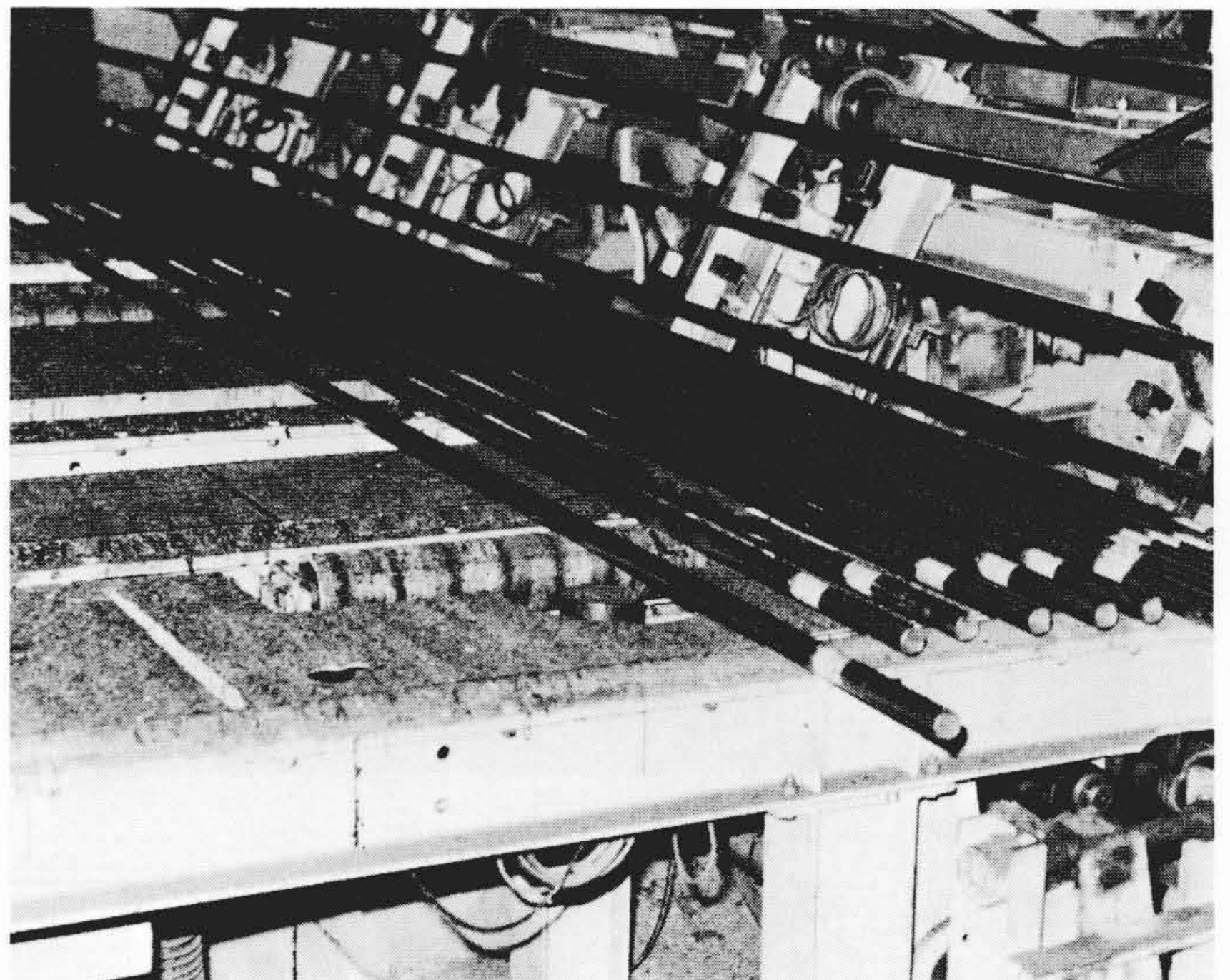


図10 「マグシフター」の稼動状況 防錆剤を塗布した鋼管が半硬化状態でスキッド上にストックされるが、ワニスによる粘着力を「マグシフター」の強制転送力ではがし次工程へ停滞なく送る。

が衝突して大きな衝突音を発生し、打ちきずや擦りきず、レールの摩耗などが生じている。スキッドレール上へ複数本ストックされると、後続ラインの要求から必要に応じ、搬出キッカにより搬出ローラへけり出され、次のラインへ移送される。特に、スキッド上にストックされている鋼管の場合は、搬入キッカにより1本又は複数本けり出された後に転動を開始するので、初速が零で慣性力がないため鋼管の曲りや突起があると、転動せずスキッド上へ停滞し鋼管の流れをとめて生産に支障を来す。

そこで、スキッドレールと併設して「マグシフター」を設け、制御された時間間隔で「マグシフター」のマグネットを転送方向に順次切り換えれば、鋼管の強制転送が可能となる。この場合、マグネットの励磁間隔を鋼管の生産速度に合わせれば、スムーズな搬送が可能となる。

図示はしていないが、鋼管移送騒音防止装置「マグネスキッド」と併用すれば、低勾配スキッドでの低騒音無停滞搬送が可能となる。

図10は、防錆剤を塗布した鋼管搬送ラインの「マグシフター」の稼動状況を示したものである。

7 結 言

以上、鋼管強制転送装置「マグシフター」の機能と特長について事例を交えて紹介したが、本装置は鋼管生産ラインでのスムーズな搬送、自動化が図れ、安全性や生産性の向上に大きな効果があることは明らかである。本装置は鋼管ばかりでなく、丸鋼、丸ビレットなどの鋼表面状態が非常に悪いものへの適用が拡大されることは明らかであるので、今後ともよりいっそうの研究、改良を続けていきたいと考える。

終わりに、本装置の導入に際し終始多大な御協力をいただいたユーザー各位に対し、厚く謝意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 泉館, 外: 鋼管移送騒音防止装置「マグネスキッド」日立評論, 54, 771～776 (昭47-9)
- 2) 我が国における最近の鋼管製造技術の進歩, 日本鉄鋼協会 (昭49-7)