

鉄 道

佐藤 裕*

1. 序 言

鉄道線路を計画、設計、施工し、試運転後の営業時の保守管理を行なうそれぞれの段階で、多種多様な測定が行なわれるが、いまここにすべてを網羅するわけにはいかないし、またトンネルや橋梁については別にまとめられるので、ここでは主に軌道に関するものを取り上げることにして、その主なものをまとめると表-1のようになる。これらのうちから他の分野ではあまり行なわれないものについて、また東海道新幹線で適用された例を主として以下に記す。

2. 設計における測定

東海道新幹線の線路選定に当っては、まず図化機を広く導入した全面写真測量によって1/2500の地形図を作

表-1 鉄道線路に関する主な測定

段階	目的	測定	
		項目	方法
設計	線路選定	地形地質調査	航空写真測量 ボーリング、弾性波 土質、載荷
	線形、土工定規 路盤	車両動揺乗心地 列車風 路盤安定	振動形、乗心地形 風速計 沈下計、間げき水圧 計、変位計、ひずみ計
建設	軌道敷設	軌道整正	軌道狂い測定器 自動制御保線機械
	軌道材料検査 試運転	購入検査 完工検査 列車の荷重条件 軌道各部の変形	レール溶接部探傷 車両の輪重横圧測定 変位計、圧力計、応 力計、振動計
保守	軌道状態管理	軌道狂い 走行安定	高速軌道検測車 車両動揺、輪重横圧 測定
	軌道材料管理 防災	レール損傷 地震、台風	レール探傷車 地震計、風速計 雨量計

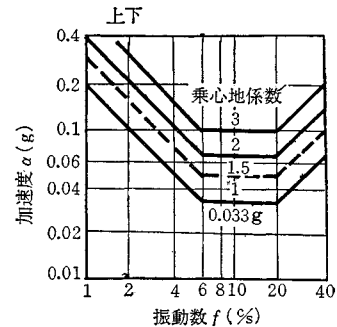
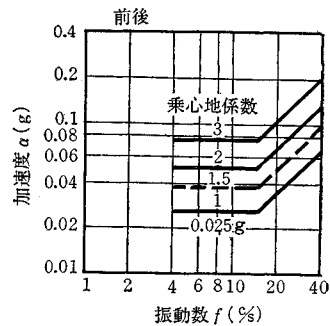
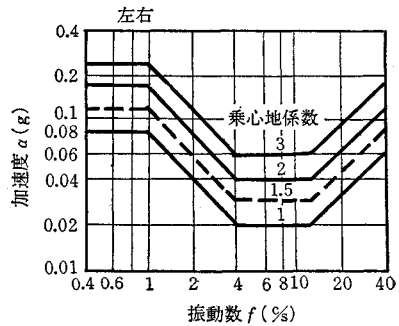
* 正会員 工博 国鉄鉄道技術研究所 軌道研究室

成したり。図上選定の後に地上測量が行なわれ、続いて地質調査としてはボーリング、弾性波調査、土質試験および載荷試験等が行なわれた。

線路選定は、曲線半径や勾配の制限に影響されることが大きい。曲線半径等の基準を決定するために、あらかじめ車両の曲線走行時の安定性と乗心地等について理論計算とともに現車試験によって検討された。

車両動揺および乗心地の測定は、普通機械式加速度計によって行なわれる。これは垂錘の動きをレバーで拡大させて、インク書等の方法で記録されるもので、拡大倍率は最大20倍程度である。固有振動数は普通10 c/sec程度であるから、測定可能範囲は数 c/sec までであるが、

図-1 振動に対する乗心地基準

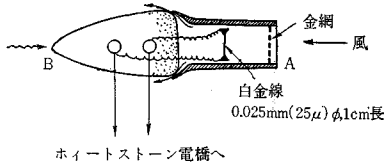


乗心地係数 1以下 非常に良い
1~1.5 良い
1.5~2 普通
2~3 悪い
3以上 非常に悪い

車体の動揺測定にはこれで目的を達する。しかし車体の弾性振動やあるいは台車、輪軸等の振動測定には、さらに固有振動数の高い加速度計が必要となるが、この場合には非接着電気抵抗線式加速度計が多く用いられる。

車両の振動乗心地については、国鉄では内外の実験結果から、図-1 に示すような基準を採用して²⁾、加速度計の記録から加速度値と振動数によって乗心地係数を求めることもあるが、また図の特性に合わせた乗心地計を用いるのが便利である。上下動の乗心地計は、永久磁石の間にはねで支えられたコイルを設けた可動線輪形の振動計で、コイルの固有振動数を約 12 c/sec とし、これに臨界制動を与えて、振動によって発生する電圧を 1~6 c/sec では加速度の微分すなわち衝動に、6~20 c/sec では加速度に、20 c/sec 以上では速度に比例するようになったものである。

図-2 風速素子



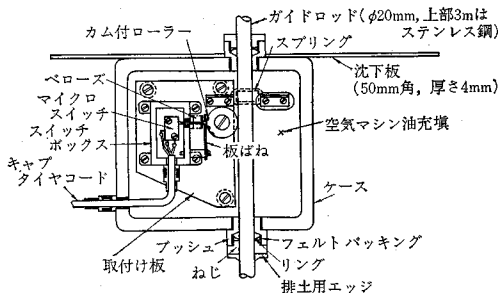
線路中心間隔や施工基面幅等を決定するための因子として、列車風があげられるが、これは図-2 に示すような熱線風速計等で測定された。

東海道新幹線では軟弱路盤帯を通過することが多かったので、表-2 に示すような測定³⁾が行なわれて、対策工法の選択がなされた。これらのうち連結自記沈下計は、盛土下層の基盤となる層に固定するためのアンカーパイル、これに連結して地表まで伸びているガイドロッド、これに沿

表-2 軟弱路盤盛土の測定

区 分	測 定
沈 下	沈下板水準測量 連続自記沈下計 断面沈下帯
間 隙 水 圧	電気式間隙水圧計
変 位 ひ ず み	地表変位 地表ひずみ計 側方変位測管
強 度	フォイル サンプリング 軸圧縮試験

図-3 連続式沈下計、発信器側面図



て盛土とともに沈下する測定器本体、およびこれによる発信を時間軸に記録する装置からなっている。本体は図-3 に示すように、頂部に 50 cm 角の沈下板を載せた水密質の箱をガイド ロッドに沿って摺動させ、マイクロスイッチを利用して上下 1 cm の動きに対応する発信を行なうものである。

3. 設計における測定

軌道敷設に当っては、測量によって打った基準杭によって軌道整正を行なうが、その軌間、水準ゲージや、糸張りによる通りおよび高低等の測定も行なわれ、その際小形の視準器が使われることもある。曲線の通り整正のために、正矢測定値を入れることによって整正量を求めるための、レバーを連結した方式の簡単な計算機もよく使われる。

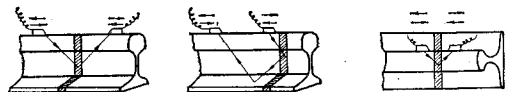
道床の総つき固めをする大形保線機械のうち最新のものは、高低および水準を測定する装置を備えて、その測定を行ないながらつき固め動作を自動的に制御する方式のものがあり、また通り直し大形機械でも同様なものが開発されている。

敷設が完了すると、後に記す高速軌道検測車によって軌道状態が点検される。

レール、締結装置、まくらぎ等の軌道材料については、それぞれの購入検査において各種の試験が行なわれるが、敷設後に行なわれる検査のうち重要なものは、レール溶出部の非破壊検査である。

レール溶接部については、寸法検査、外観検査、浸透法検査、硬度検査等のほかに、超音波探傷と放射線探傷も行なわれる。超音波探傷は 2 探触子による斜角探傷法によって、図-4 に示す方向から行なわれる。放射線探傷⁴⁾はワイヤー式コバルト 60 探傷器によって、レール頭部、腹部、底部に分けて 3 枚の透過写真を撮影して判定される。その一例が写真-1 であるが、中心に白くなっているのが腹部の気孔である。

図-4 超音波探傷方向



東海道新幹線では、昭和 37 年 6 月にその一部となる大和~小田原間に延長約 33 km のモデル線区を完工し、全線開業の昭和 39 年 10 月にいたるまで、この線区において車両、軌道、架線等の性能確認のため非常に多くの試運転と測定が行なわれた。

車両の走行安定性に関しては、前に記した車両振動のほかに、車輪スポークに生ずるひずみから、動的な輪重や横圧が測定⁵⁾されたが、これがまた線路構造物の設計

写真-1 レールテリット溶接部のγ線透過写真

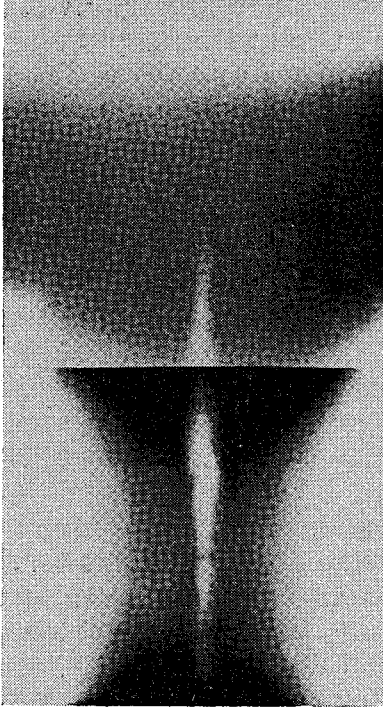
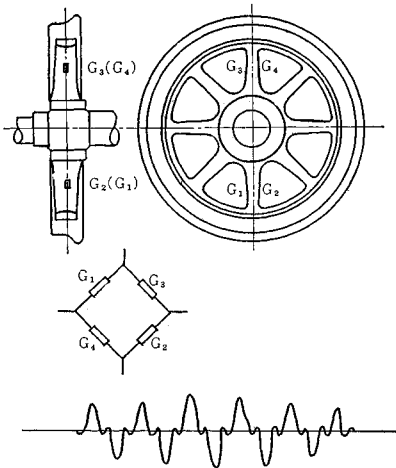


図-5 ワイヤーゲージ接着図 (1)



荷重を決定する基礎資料になる。

車輪スポークの両側面に、図-5 に示すようにワイヤーゲージを接着してブリッジを組めば、スポークの圧縮ひずみを車輪半回転ごとに知ることができる。車輪スポークの前後面に 図-6 に示すようにワイヤーゲージを接着してブリッジを組めば、スポークのひずみを車輪半回転ごとに知ることができる。あらかじめスポークに生ずるひずみと荷重との関係を校正しておけば、走行中の輪重および横圧が求められる。輪軸は走行中に回転するので、図-7 に示すような孔をあけて、ひずみ計から

図-6 ワイヤーゲージ接着図 (2)

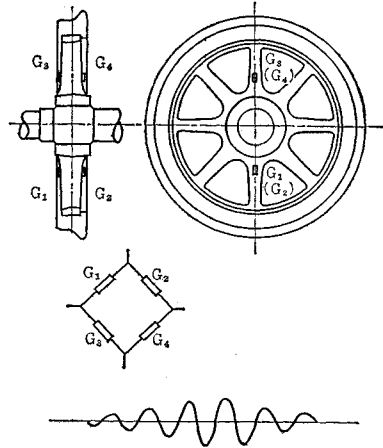


図-7 配線孔位置図

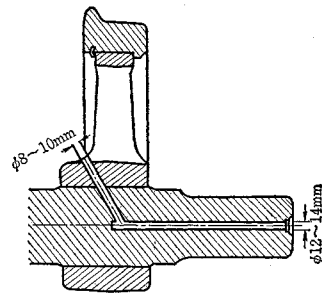
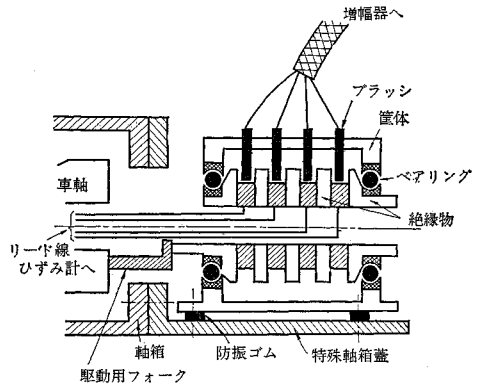
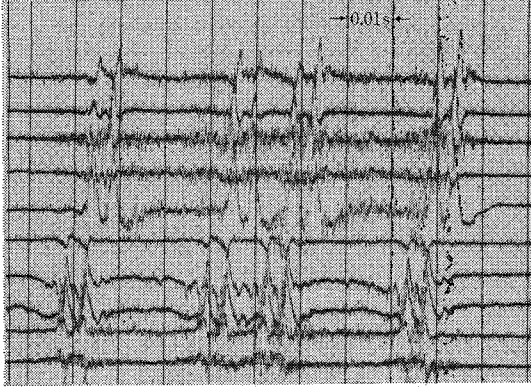


図-8 スリップリング



の電線を車軸端に導いておく。回転する車軸端の電線と電気的に車上の装置とを連結するためには、モーターのブラッシュに相当するものとして、図-8 に示すようなスリップリングをもちいる。スリップリングの材質は銀、ブラッシュの材質は銀グラファイトで、一つの回路に対して 3~4 個のブラッシュが付いており、激しい振動を受けても全部が同時には離れないようにしてある。スリップリングのブラッシュから電線を車上の増幅器に導き、それから オッシロ グラフに記録させる。以上

図-9 レール応力オッシロ グラムに雑音が入った例



のような方法で輪重および横圧が車輪1回転に2回ずつ測定されることになるが、さらにこの間の変化も知りたいときは、全スポークのひずみを特殊なブリッジに組んで、輪重および横圧をほとんど連続的に測定する方法もある。

試運転に際しては、軌道構造全体として、あるいは各部分ごとについて、列車による動的変形を測定して、設計推定値との比較および耐久性の検討等を行なう⁹⁾。

レール、締結装置、まくらぎ等の応力測定のみならず、圧力やたわみの測定にもワイヤーゲージが広く利用されるが、これの使用についての大きい問題点のみを記す。

鉄道の電化区間では、レールのひずみ測定等にワイヤーゲージを普通の方法で用いる場合は、記録に電気雑音が混入することは以前からあったが、新幹線のように交流電化区間でしかも全車両電動車ということになると、図-9に示すオッシログラム例のように、記録の判読不可能となった。雑音の原因は、レールを流れる高周波電流によるもので、発生源は車両の電動機である。

このような雑音防止対策として各種の実験を行ったが、結局ゲージにいたるまで完全に電氣的シールドを行なうことが必要であることになり、シールドゲージを作った。シールドゲージは図-10に示すように、ゲージを銅箔で包んだもので、接着したものアクセプゲ

図-10 シールドゲージ

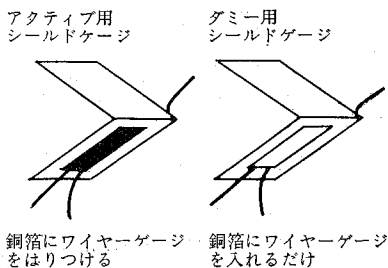


図-11 レール、まくらぎ、道床振動加速度計

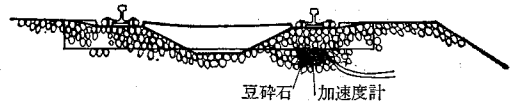
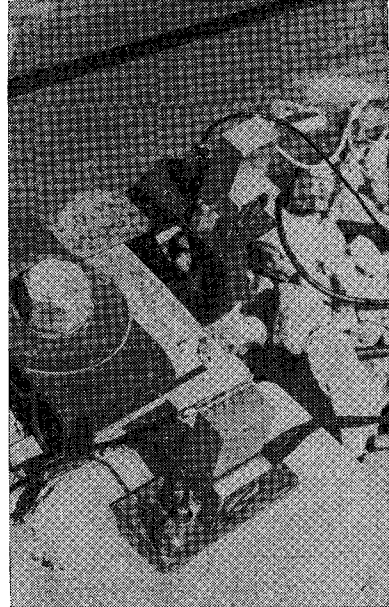


写真-2 レール、まくらぎ、道床振動加速度計



ジとし、接着しないで包んだだけのものをダミーゲージとした。そのほかアクセプとダミー両ゲージをならべて配置し、ブリッジの結線も雑音を打ち消すように極性を考えた方法で行なった。以上によって、雑音がほとんど混入しない記録を取ることに成功した。

レールやまくらぎには、列車走行によってこまかい振動が発生して、そのために道床にゆるみを生ずるが、その度合は振動加速度にほぼ比例するので、おもに加速度測定が行なわれる。加速度計としては非接着電気抵抗線式振動計が多く用いられる。軌道各部への取付は図-11に示すように、レールについては特別の金具を用い、まくらぎについては接着剤で貼り付けた基板にねじ止めし、また道床については円筒形の金具に入れて埋めこむ等の方法をとる。チタン酸バリウムの圧電式振動形は超小形であるから、これをボルトの頭部にねじこんで振動を測定することもある。

各部の変化や圧力等の測定に、それぞれ特別の計器⁹⁾が用いられているが、ここでは省略する。

4. 保守における測定

列車の円滑な走行を保持するため、軌道の走行路、すなわちレールの位置は、常に測定して整正しなければな

図-12 軌間測定装置

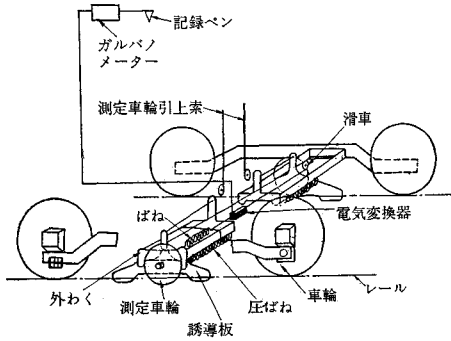


図-13 水準記録装置

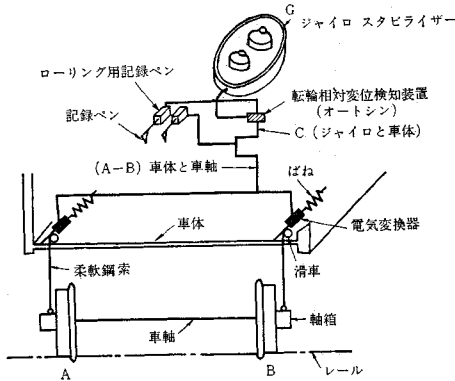


図-14 高低測定装置

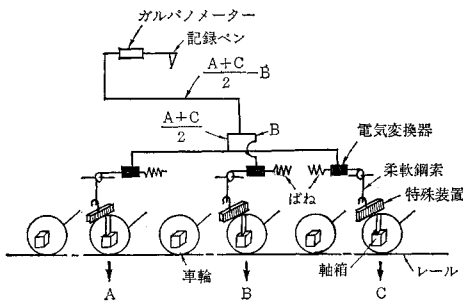


図-15 通り測定装置

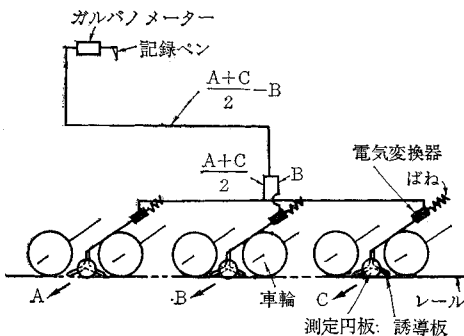
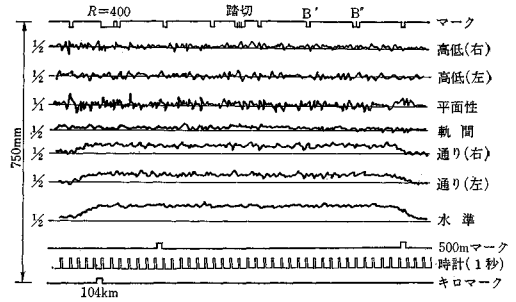


図-16 連続測定記録例



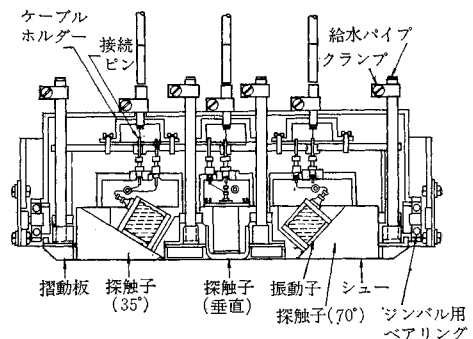
らないので、そのために多くの器械がある。また軌道状態に関する多くの項目を同時に測定記録する総合軌道検測車、あるいは検測トローリーも近年盛んに用いられる。

総合軌道検測車は客車形式で、営業列車に併結して検測するものであって、検測機構の原理をつぎに示す⁹⁾。まず軌間すなわち両レールの間隔は 図-12、水準すなわち両レールの高さの差は 図-13、高低すなわち凹凸は 図-14、そして通りすなわち左右の曲りは 図-15 に示すような方法で測定される。各項目の連続測定記録例を 図-16 に示すが、このチャートによって軌道状態を直接整正するとともに、さらに統計的に整理して大局的な管理も行なうので、その統計処理を自動的に行なう電気装置も備えている。

軌道状態を検測するために、特に高低あるいは通りの場合に前記のような車輪の相対変位から測定せずに、変形を用いれば1車輪で形状を測定できるが、所要の特性の変位計を試用した例^{9), 10)}が報告されているので、これが実用化すれば、検測車はより簡単な構造になるであろう。

レールの損傷は列車の走行安全に特に重要であるから、超音波利用のレール探傷車によって能率的な探傷が行なわれる。図-17 に示すような機構の探触子を設けたものである。摺動探触子は複合形で斜角 70°、斜角 35°、および垂直用の振動子が一体にして組込まれている。この探傷車は 20~25 km で走行しながら、レール

図-17 新幹線用レール探傷車複合形探触子



きずの有無やその大きさを記録できる。

防災関係にもいろいろの測定が行なわれている。新幹線では地震計が 25 カ所の全変電所に設置されて、震度 4 以上では自動的に電源を切るようになっている。風速計は 24 カ所の主要河川付近に設置され、また積算自記雨量計は軌道検査班 54 カ所に設置され、いずれも測定値が中央指令所に連絡される。

5. 結 言

鉄道で行なわれる測定のうち、特色のあるものについては一応紹介したが、外国のものとの比較は行なう余裕はなかったし、また今後の問題として測定結果の自動処理が大きい、これに触れなかったので他日を機したい。

参 考 文 献

- 1) 日本国有鉄道：東海道新幹線工事誌 土木編，昭 40.3

- 2) 大塚誠之編：車両工学，日刊工業新聞社，昭 32.9
 3) 室町忠彦・渡辺 進：野場軟弱地盤における変状観測，鉄道技術研究報告，No. 364，昭 38.7
 4) 河野忠雄：レールのテルミット溶接部のガンマー線検査，東海道新幹線に関する研究，4,5,6 冊，鉄道技術研究所，昭 38, 39, 40.4
 5) 新幹線モデル線高速走行試験の測定方法，鉄道技術研究所速報，昭 38.2
 6) 佐藤 裕・豊田昌義：高速列車による軌道の変形，鉄道技術研究報告，No. 492，昭 40.8
 7) 佐藤 裕：軌道力学，鉄道現業社，昭 39.11
 8) 中村林二郎・中村一郎：新高速軌道試験車，東海道新幹線に関する研究，5,6 冊，鉄道技術研究所，昭 39, 40.4
 9) 佐藤吉彦・相沢泰治：軌道狂い絶対形状の測定装置，鉄道技術研究報告，No. 381，昭 38.11
 10) Cass, R., King, F.E., Cadwell, W.N.: RESEARCH INTO TRACK DYNAMIC PROPERTIES Proc. Instr. Sor. Am 19 1/5 1962.02
 11) 中村林二郎：超音波レール探傷車，鉄道技術研究資料，22，昭 40.12

豆 知 識

メ タ リ コ ン と は

メタリコン法は、1905 年スイスの Dr. Schoop によって発明されたもので、各種金属を電熱またはガス焔で溶融すると同時に圧縮空気で吹き付け、微粒子として、加工物体の材質形状になんらの変化を与えずに、その表面に金属被膜を任意の厚さに形成させる一種の金属表面処理法である。

したがって、被膜と金属面の密着は全く機械的な結合で、素地面の凹凸の間に溶射粒子が変形して引っかかることによるものである。

素地金属が鉄鋼製品の場合には、防食を目的とするので、溶射金属には Zn が使用される。これは、Zn の鉄に対する電気化学的保護作用によるもので、メタリコンの寿命は、主として溶射被膜の厚さに比例する。

防食被膜の厚さと寿命の関係は、I.E. Waketel の研究によると表-1 のとおりである。普通 2~3 回溶射した場合の被膜の厚さは、0.05~0.10 m/m となる。ま

表-1 被膜の厚さと寿命の関係 (単位 m/m)

条 件	5~10 年	10~20 年	20~40 年
寿 命			
普通大気中	—	0.08~0.12	0.12~0.18
工場地帯	—	0.15~0.20	0.25~0.37
海岸地帯	0.15~0.20	0.25~0.30	0.30~0.37
海水中	0.25~0.30	0.33~0.40	—

た、Zn 溶射膜は微粒状の粗面であるから、塗料の下地として 0.03~0.05 m/m の厚さの Zn 被膜を作り、その上に適当な塗料を施すことが防食上効果的と考えられるが、この場合には、中塗塗料は溶射された Zn 被膜と化学反応を起こさないようなものを選定しなければならない。

メタリコン法は、金属の防食性能が優れており、使用法いかんによっては優秀な効果が期待できるものと思われるが、つぎのような特徴を把握して検討することが望ましい。すなわち

- (1) 被覆金属層の純度は変化しない。
- (2) 被処理物体の材質のいかんを問わない。
- (3) 被射体を強く加熱することなく処理するので、熱によるひずみ、き裂の発生がない。

というような利点とともに、

- (1) 密着性の良くない場合がある。
- (2) 色相が豊富でない。
- (3) 現場の補修、手直しが簡単でない。
- (4) 加工性特に溶接性が劣る場合がある。

という欠点も考えられるので、施工条件に応じて使用法を考えることが必要である。

【沼田耕一・記】