

日立耐振レールボンドの諸特性

Various Properties of Hitachi Fatigue-Resistance Rail-Bond

山路 賢吉*

Kenkichi Yamaji

藤田 恒義**

Tsuneyoshi Fujita

内 容 梗 概

レールボンドとして望ましい諸条件を満足する製品を開発するため種々試作実験を重ねた結果、導体と端子を圧着接続（無はんだ接続）する方法を用い、レールとボンドとの取付けにだけ低融点の金属ろうを使用する新しいボンドを製造することに成功した。

本報告は上記新形レールボンドにつき諸性能を測定するとともにそのレールへの取付け法について研究したものである。

得られた実験結果より新形レールボンドの特長を列举するとつぎのようになる。

- (1) 耐振動疲労性がきわめて大きい。
- (2) レールボンドとしての引張り強度、電気的性能、耐食性にすぐれている。
- (3) 構造上均質な製品が得られる。
- (4) レールへの取付けに際し、所要金属ろうが少量ですみ経済的である。
- (5) レールへの取付けが簡単で、その取付け強度が大きい。

1. 緒 言

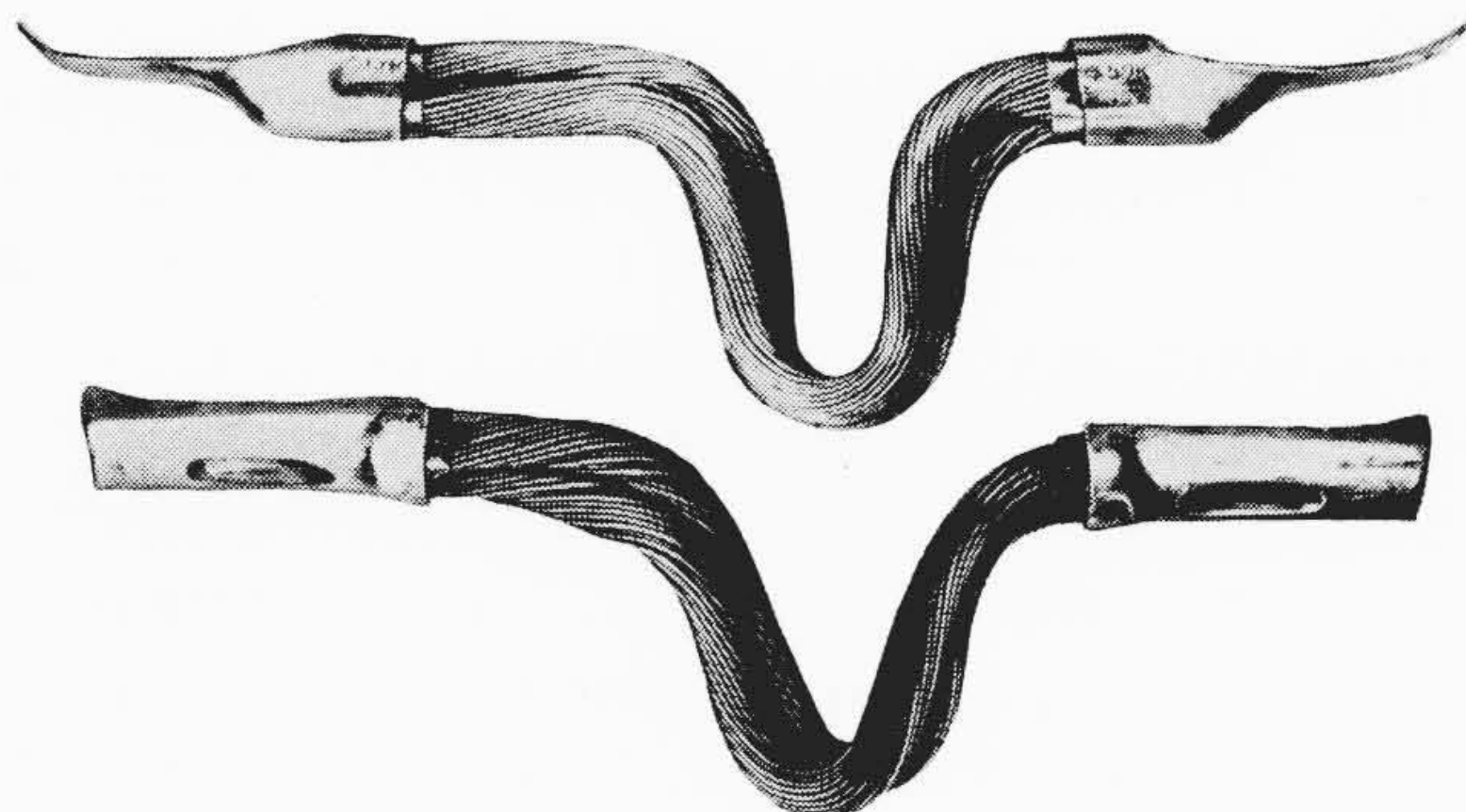
レールボンドは電気鉄道の帰線用として、また信号回路として重要なものである。このため各種形状の熔接ボンドならびに打込みボンドが使用され、これらをレールに取付けるには熔接法、圧縮法が採用されている。

熔接法には電弧熔接、ガス熔接、テルミット熔接などがあり、これらは種々のすぐれた特長をもっているが、共通した欠点はレールへの取付け温度が高いためレールの材質をそこなうことである。たとえば Mn 鋼レールに割れを発生させるとか、表面硬化したレールを軟化させることなどの問題がある。

上記の欠点ならびに保守上、保線作業上の欠点を除去するために数多くの研究が行われた結果、近年になってろう接法が登場し、すでに日本国有鉄道および若干の私鉄でこの方法が採用されている。この方法によるレールボンドは、簡単にいえば真鍮端子と導体をろう接して製造されるもので、このレールボンドをレールに取付ける場合にもろう接法を採用している。この場合問題となるのは使用する金属ろうの性能であり、これについてはわれわれの研究結果の一部をすでに発表している⁽¹⁾。

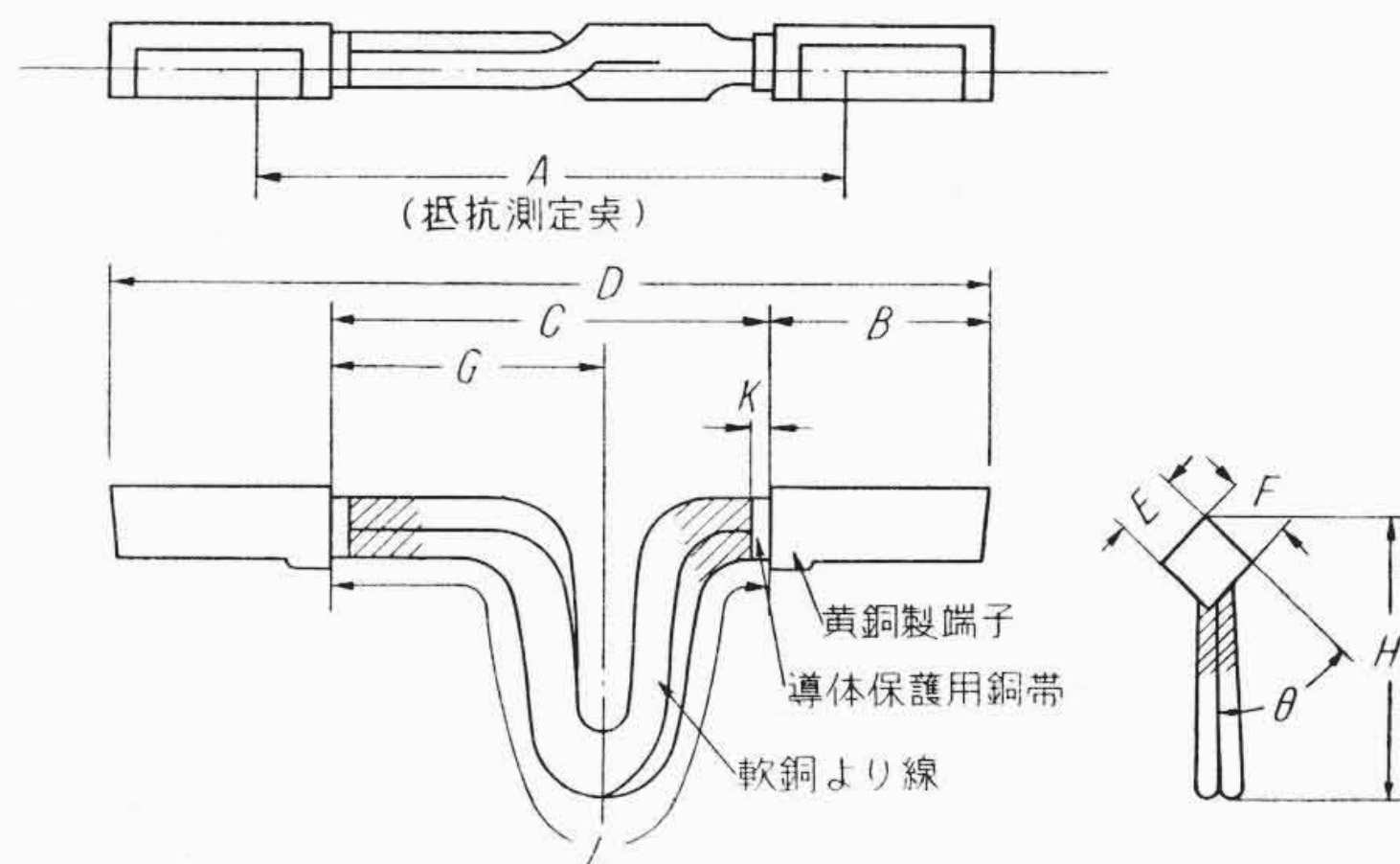
ろう接ボンド（低温熔接ボンドとも称している）は低融点の金属ろうを使用するために従来の熔接ボンドに比べレールをいためる可能性がなく、またレールへの取付けも比較的容易である。しかしながら導体と端子を接続するのに金属ろうを使用するので場合によっては毛細管現象のため端子から導体側へ金属ろうが滲出することがある。またこの場合熔剤が残留するとその後の腐食に影響を及ぼすことになる。したがって従来この種ボンドの製作に当っては熟練を要し、ろう盛りに時間がかかり、製品の均質性に難点があった。

日立製作所では上記の欠点を除去し、製品の均一性をはかり、原価を低減するために端子と導体とを圧着接続（無はんだ接続 Solderless Terminal Jointing）する方法を用い、レールとボンドとの取付けは低融点の金属ろうを使用する新しい方法を開発した。端子と導体を圧着によって接続する方法は第2次大戦中より諸外国において実用化されたものであり、わが国においてもこの方法によって導体を接続することが次第に普及している。この方法では接続の場合、加熱したり熔融相を含むことがないため材料の劣化、腐食のおそれが



第1図 低温熔接ボンド（写真上）と日立耐振ボンド

第1表 日立耐振形ボンドの構造



呼び方	呼び断面 面積 (mm ²)	適用 レール	より線 構成 (mm)	A	B	C	D	E	F	G	H (約)	K	L	θ (度)	電気抵抗 20°C (μΩ)	引張荷重 (kg)
CW-110	110	37kg用	37/1.4×2	180	65	130	260	20	13	85	83	5	220	45	52	800
CW-140	140	50kg用	61/1.2×2	180	70	130	270	20	14	85	85	5	220	45	42	1,000

なくしかも製造容易である。

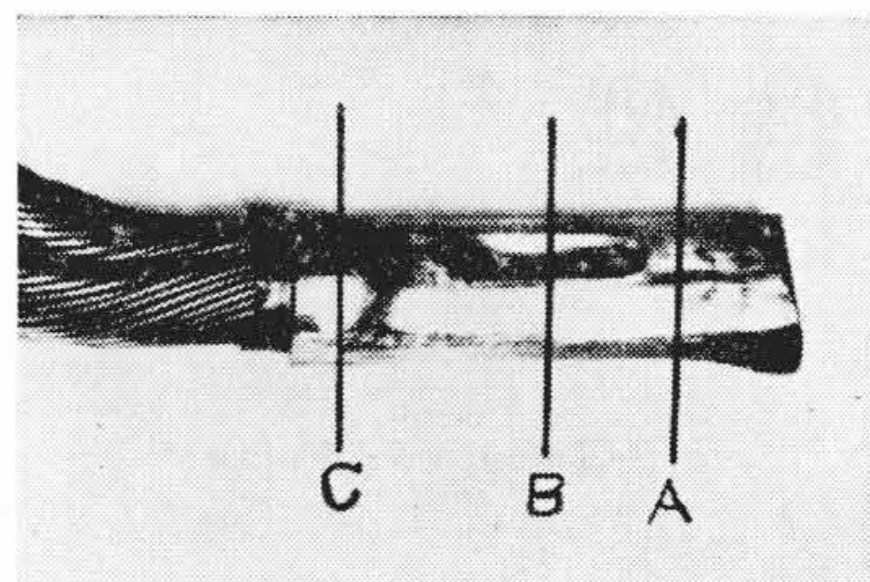
2. 構 造

このレールボンドは 37 kg レール用、50 kg レール用の 2 種があり、その構造、性能は第1図、第1表に示すとおりである。

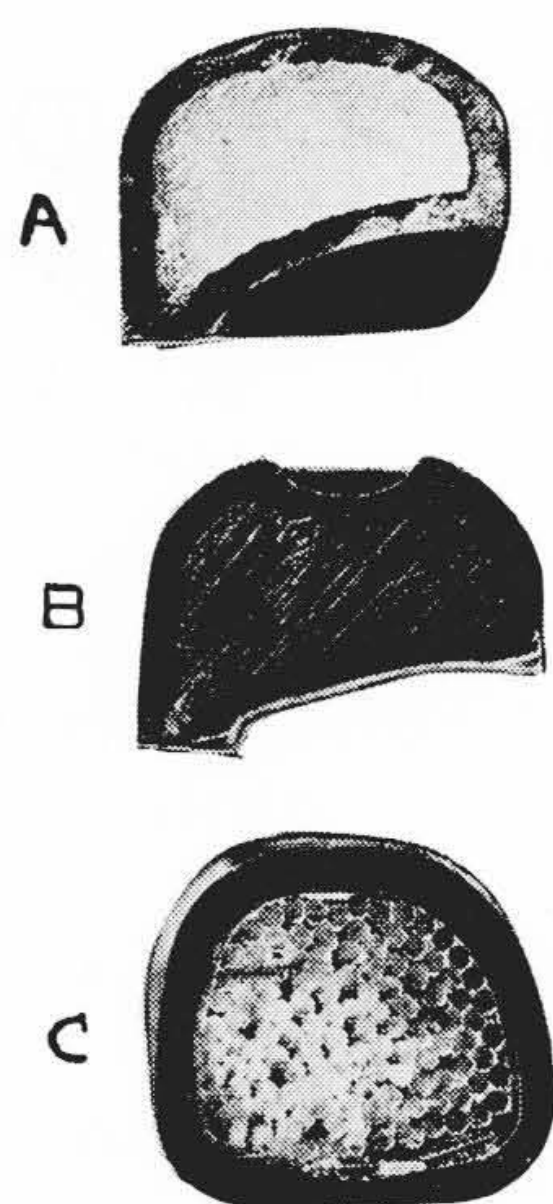
第1図からもわかるように、従来の低温熔接ボンドと特に異なる点は導体の両端に黄銅製の端子を押し無はんだ接続により端子を圧着している点である。

* 日立電線株式会社電線工場 工博

** 日立電線株式会社電線工場



第2図 日立耐振ボンドの端子部
およびその切断面



第2図は端子部の圧着状況を示したもので、C部ではほとんど圧着されていないが、B部、A部では圧着は完全である。C部に見られるように導体素線間を圧着させないのは、C部がより線部への移行場所であり、レールボンドの耐振性を増すのに有効と考えたからである。

B部上部(第2図右側写真参照)の凹みは導体と端子の圧着を良くするためのものであり、A部、B部の下部に見られる凹みはレール取付け時金属ろうのプールとなるところである。端子部の長さ、導体への圧縮度は、種々予備実験の結果決定したもので、レールボンドとしての電氣的ならびに材料的性能を満足するものである。

なおこの日立耐振形ボンドは真鍮の端子に圧力を加え加工しているものであるから残留応力の問題があり、いわゆる「時期割れ」現象を起す心配がある。時期割れの一般的な検出法としては、試片を検出液に15分間浸漬して割れを発生しない場合は、時期割れの危険性がないものとしている⁽²⁾。

検出液組成: HgNO_3 100 g
 HNO_3 (比重 1.42) 13 cc
 H_2O 1,000 cc

本実験においても上記の方法に基き検出液に1時間浸漬してみたが、割れはまったく認められなかった。

なおこの検出液では 10 kg/mm^2 前後の内力になるとその検出が不正確になるおそれがあるのでアンモニア法も用いてみたがやはり割れは検出されなかった。

3. 日立耐振ボンドの諸特性

耐振ボンドならびに低温熔接ボンド(50 kg レール用)の諸特性すなわち強度、電気抵抗、耐振性などを比較測定した。

3.1 強度試験

第2表は実験結果を示す。この表よりわかるように両者とも従来の低温熔接ボンドの規格値 $1,000 \text{ kg}$ 、3分間の保持ではなんら異常がない。しかしながら最高引張り破断荷重は耐振ボンドのほうがすぐれている。なお試験に当っては耐振ボンドは構造上試片は第3図に示すようにあらかじめ端子のスリーブ部分を特に長く製作しておき、その部分をは握して引張り、端子と導体間のは持力を測定した。

3.2 電気抵抗試験

従来の低温熔接ボンドと同じ標点距離で電気抵抗を測定した。測定距離を第4図に、実験結果を第3表に示す。その結果耐振ボンドと低温熔接ボンドはほとんど同じ値であり、低温熔接ボンドの規格値 $42 \mu\Omega$ 以下(端子中央間 180 mm)に十分合格するものである。

3.3 振動疲労試験

レールボンドとしては、列車通過による振動に対し寿命が長いこ

第2表 耐振ボンドの引張り試験結果

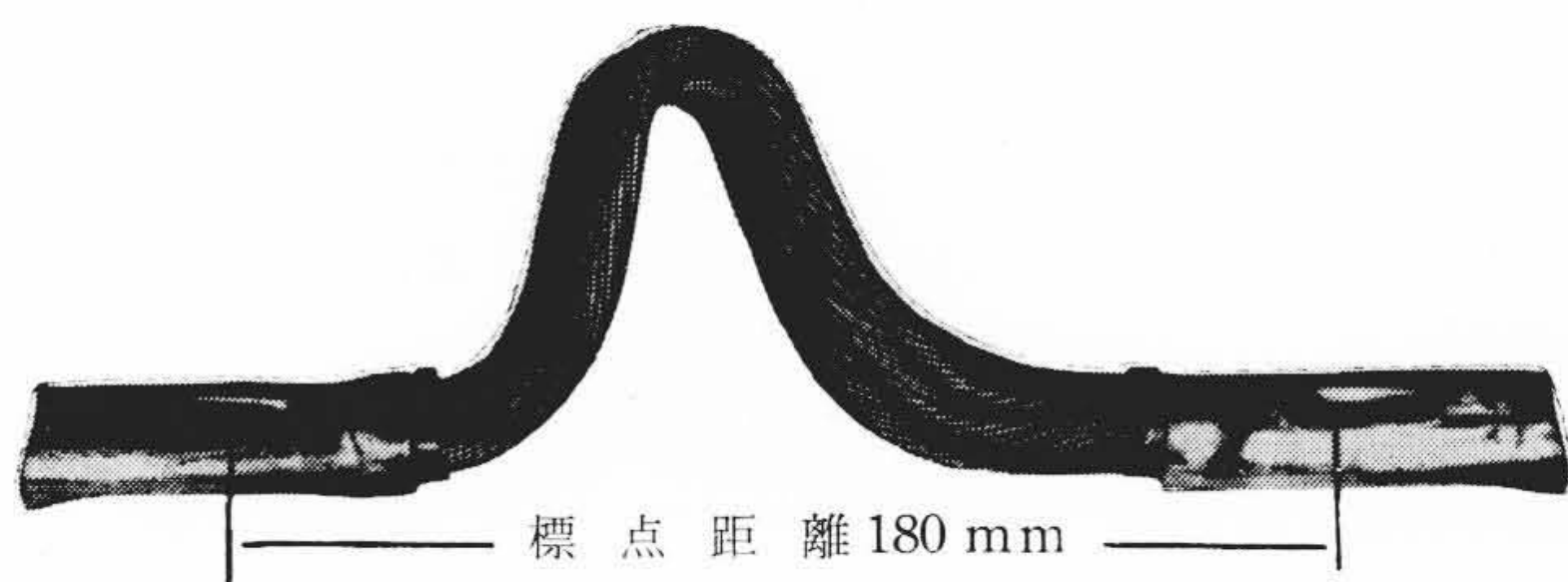
形 式	試番	最高引張り荷重 (kg)	備 考
耐 振 ボ ン ド	1	1,730	導体抜け
	2	1,530	導体抜け
	3	1,770	導体抜け
低温熔接ボンド	4	1,300	端子切断
	5	1,505	導体抜け
	6	1,515	導体抜け

第3表 耐振ボンドの電気抵抗測定結果

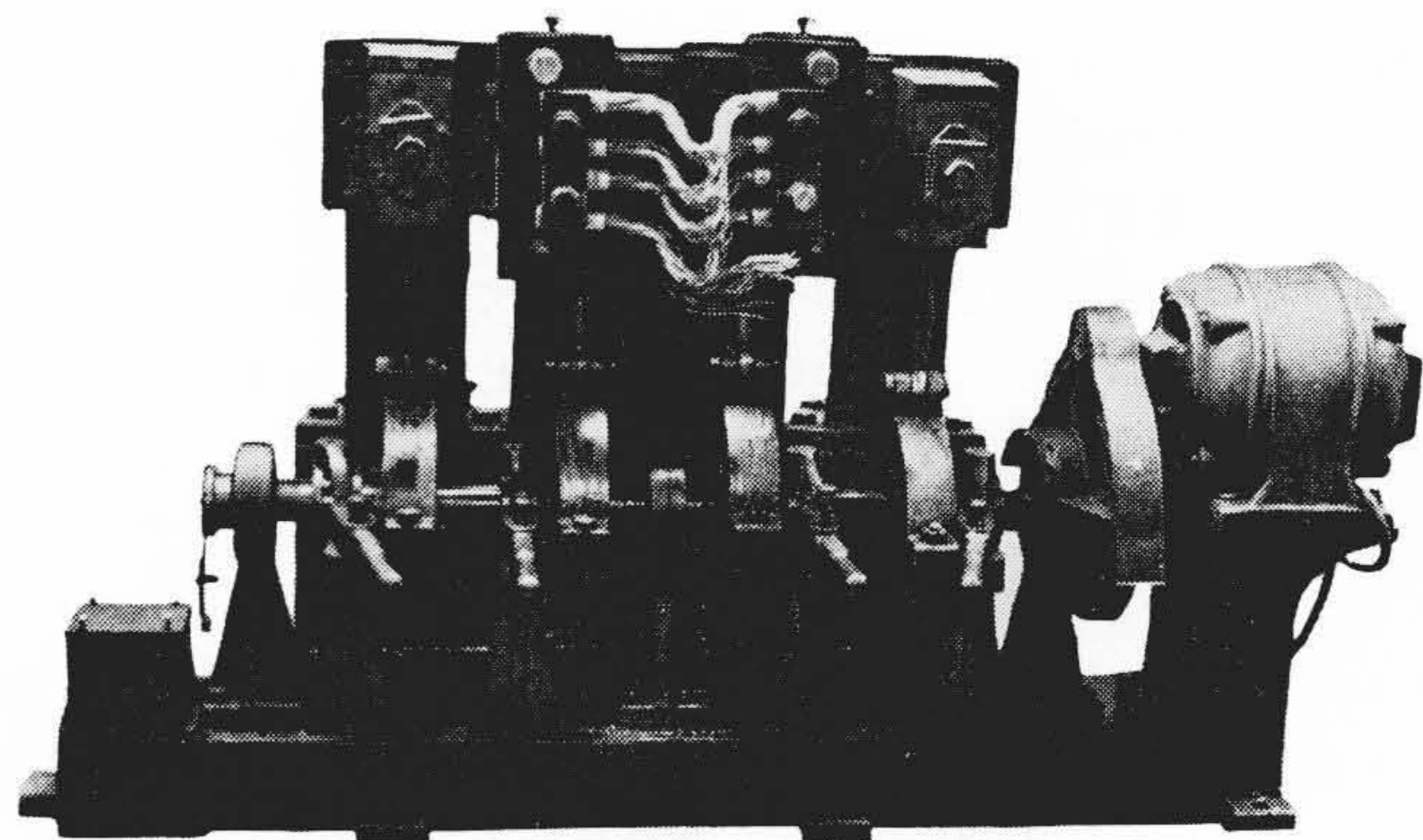
試 番	電 気 抵 抗 ($\mu\Omega$)	
	耐 振 ボ ン ド	低温熔接ボンド
1	33.7	30.7
2	34.1	33.3
3	32.8	29.7
4	32.9	32.5
5	33.1	34.2



第3図 日立耐振ボンドの引張試験前後の試料



第4図 日立耐振ボンドの電気抵抗測定箇所

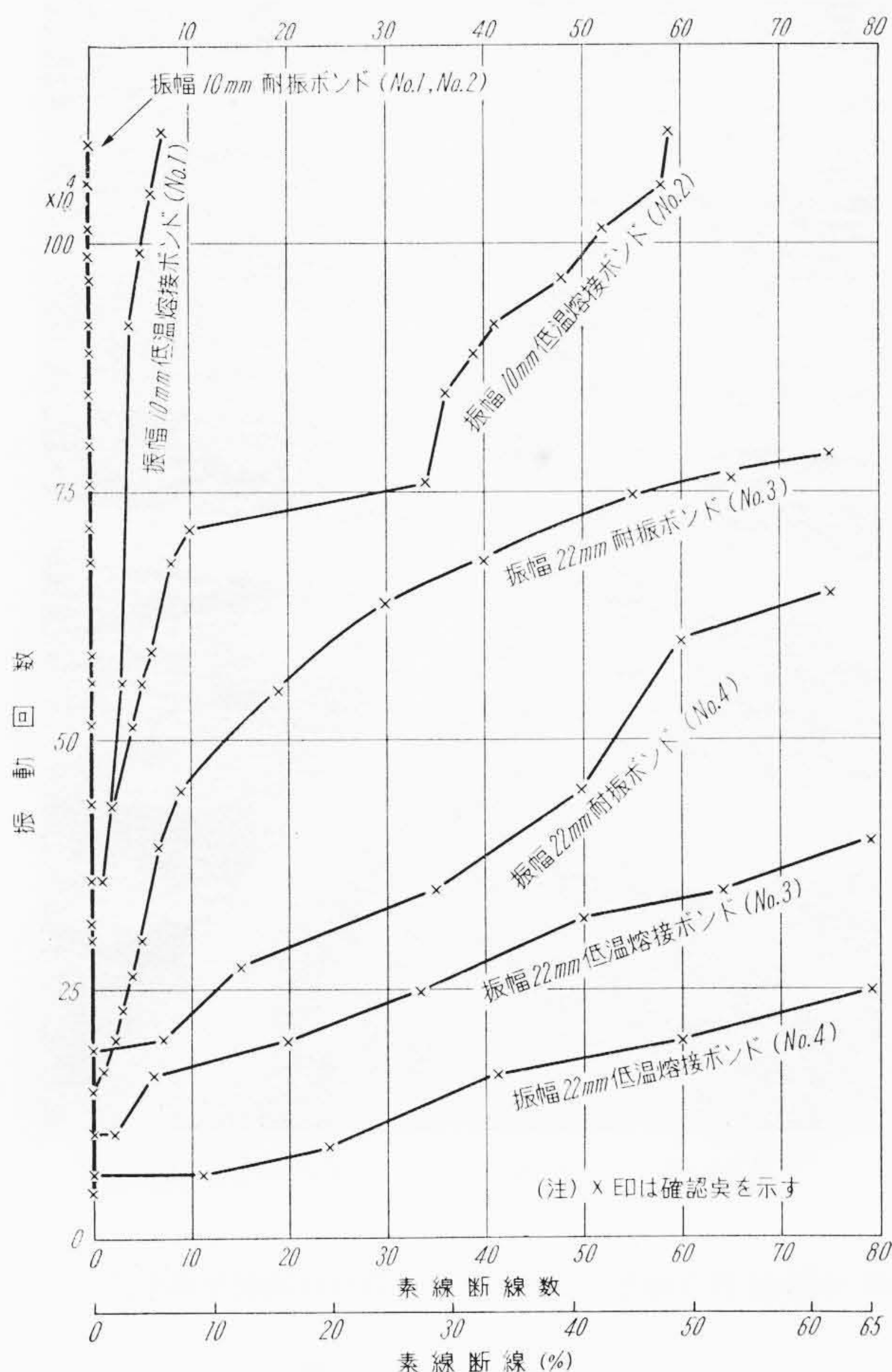


第5図 レールボンド振動疲労試験装置

とがもっとも重要であるので第5図に示すような疲労試験装置を用いて試験を行った。

第5図の装置は端子部の左右が交互に上下するようになっている。カウンタは最左端に取付けてあり上下振動速度は 400 rpm である。なお回数は、一定の振幅を与えて原位置に復帰させて1回とした。

第6図は本実験結果を示す。振幅 22 mm ($\pm 11 \text{ mm}$) の場合と 10 mm ($\pm 5 \text{ mm}$) の場合について実験を行ったが、この図よりわか



第6図 日立耐振ボンドと低温熔接ボンドの振動試験結果

るように耐振ボンドの場合のほうが低温熔接ボンドに比べてはるかに耐振性が良好なことがわかる。振幅 10 mm の場合は特にその差が著しく低温熔接ボンドでは50万回もたないが、耐振ボンドの場合は100万回以上振動試験を行っても導体の素線切れは1本も認められず、きわめて優秀な耐振性を示した。なお第6図横軸に示した素線断線%は、断線した素線数を全素線数(1.2mm ϕ ×122本)

で除した値を%で示したものであり、また同図で×印はその振動回数で疲労試験を一時中断し素線断線数を確認したものである。

上述のように圧着ボンドのほうが低温熔接ボンドに比べて耐振性がすぐれているのは、第2図からもわかるように前者では、より線部より急に完全圧着部になるのではなく、この間にあまり圧着されていない部分が存在しており、このため振動試験において端子部とより線部の境界における応力変化が比較的ゆるやかとなるためである。これに対し後者の低温熔接ボンドでは一部のはんだろうがより線部に毛細管現象により浸入し、より線部が剛体に近づくことおよび前記境界における応力変化が急激なため振動疲労に弱い結果を招来したものと思われる。

4. レールへの取付け方法

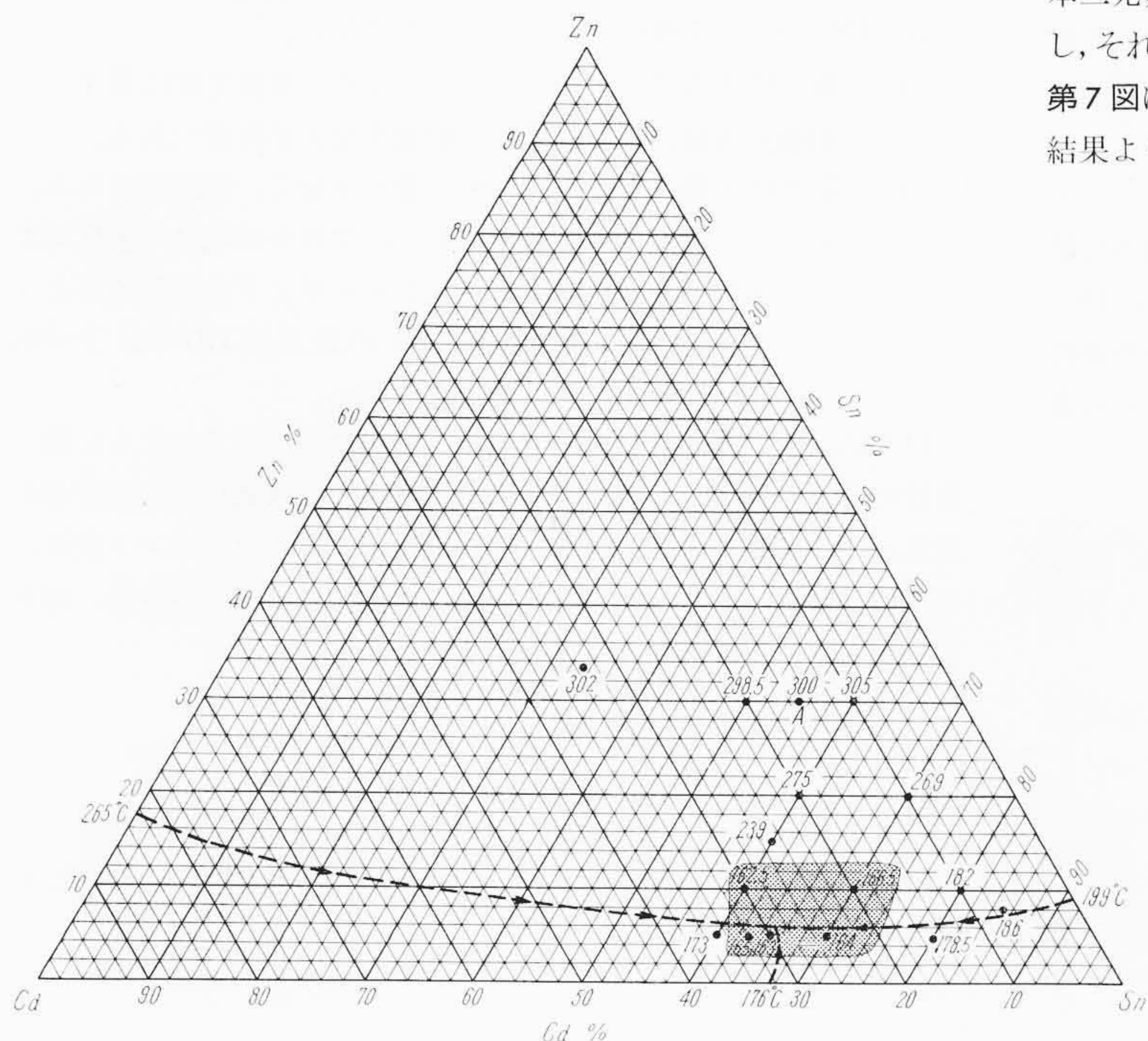
レールへの取付けは端子の取り付け面にまず低温金属ろうを施し、つぎにレールにも同様に金属ろうをつけた後、170°C程度の温度に加熱しながら熔着させるものである。取付け時間はやすりによるレール研摩約1分間、レールへの接合作業約6分間で取付け作業は簡単容易であり、比較的熟練を必要としない。また所要金属ろうも少量ですみ、50 kg レールで50 g 程度である(低温熔接ボンドでは約100 g 必要である)。なお作業時の押え金具は軽くて一人で携行可能な構造である。

注意しなければならないのは、レールへの取付け時に熔剤を使用する関係上取付け後十分水洗しておくことである。

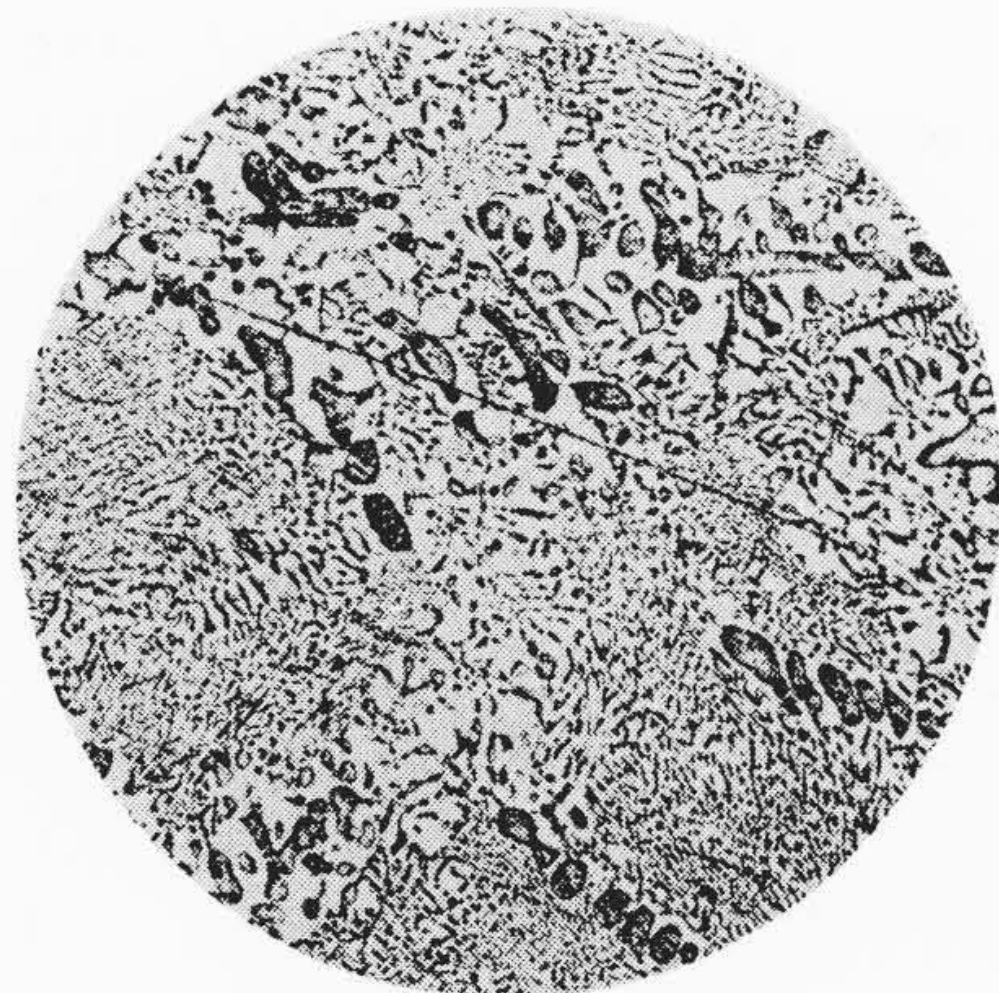
4.1 取付け用金属ろうの組成

レールへの取付けに使用する金属ろうとしては、鉄鋼、真鍮などへのろう接性の良好なことはもちろんであるが、このほかできるだけ強じんであること、固有抵抗の小さいこと、熔融点が高いこと、耐食性にすぐれていることなどが望ましい。これらの点を総合すると金属ろうとしてSn-Zn-Cd三元素が有望である。本三元素についてはすでに詳細な研究を行っており、No. 43 合金(Sn 55%, Zn 30%, Cd 15%-第7図A点参照)が優秀であることを見出している⁽¹⁾。しかし本合金は熔融点が300°Cであるので、取付け上からはもっと低融点であることが要望される。そこで低融点の良好な金属ろうを見出すため各種実験を行った。

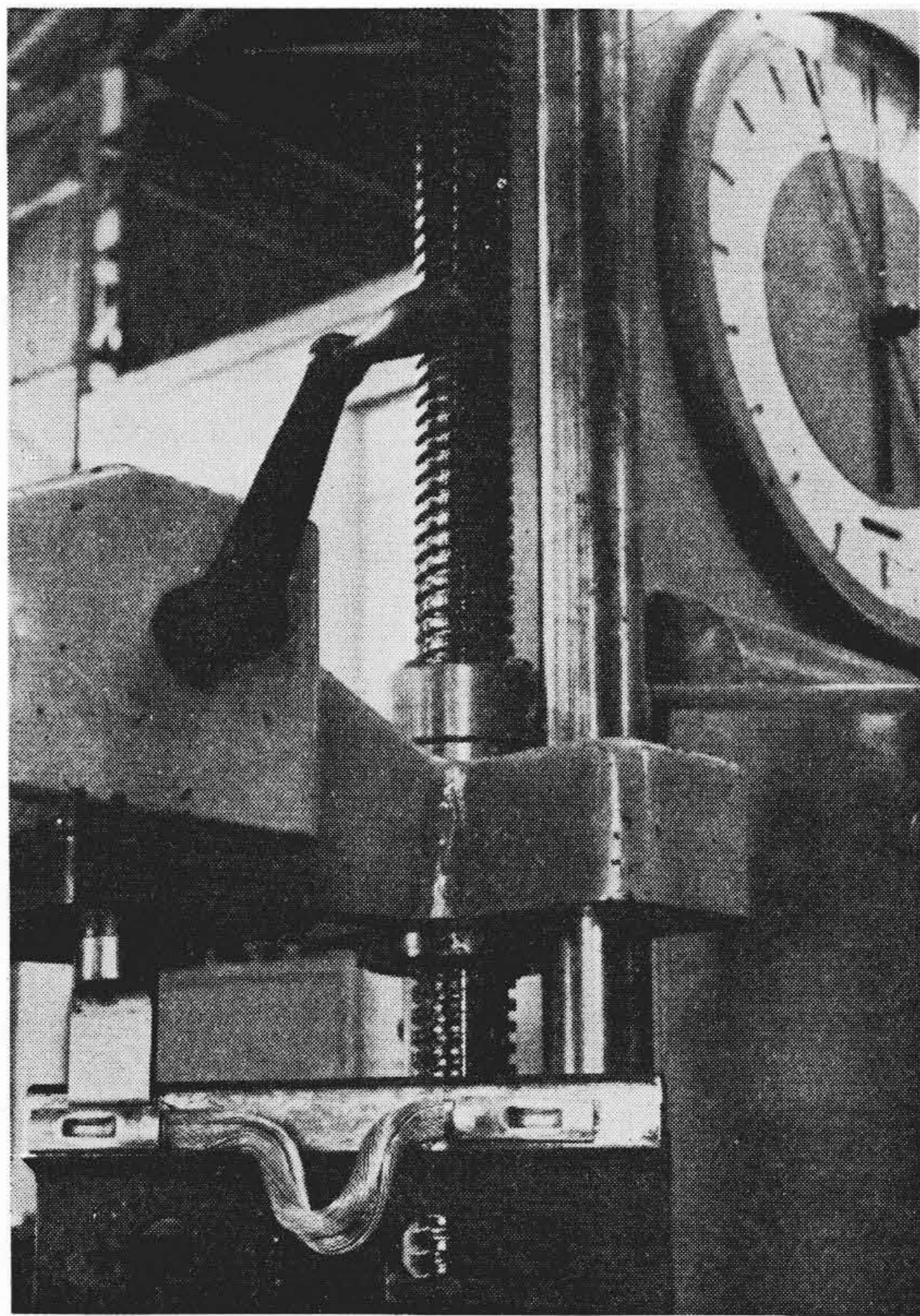
第7図はSn-Zn-Cd三元素合金の初晶面を示した状態図である。本三元素の初晶面は明確にされていないので各種組成の合金を熔解し、それぞれについて液相点および固相点を熱分析により決定した。第7図において図中の数字は液相点を°Cで示したものである。実験結果より三元共晶温度は160°Cであることが判明した。三元共晶点



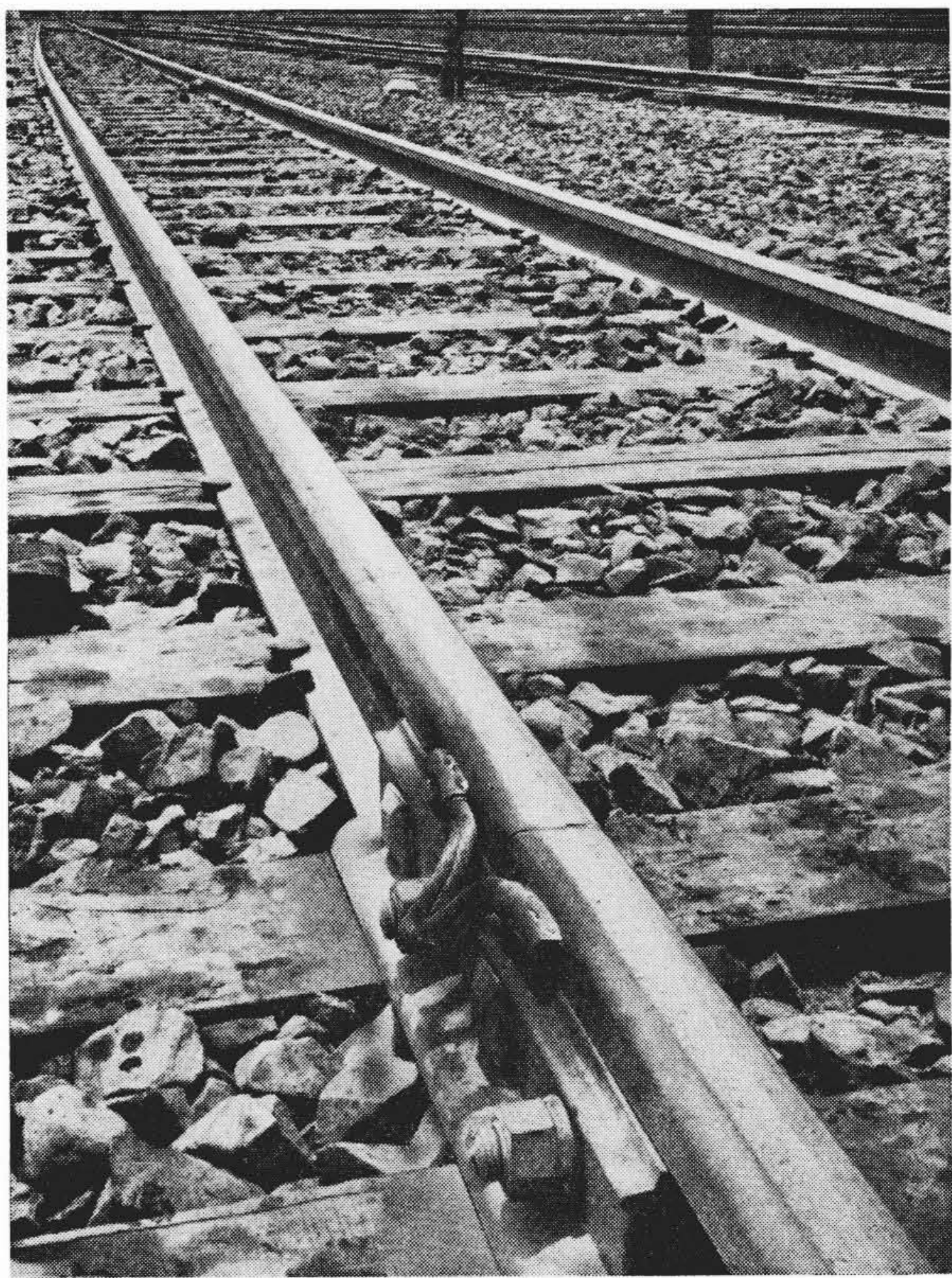
第7図 Sn-Zn-Cd 三元素の液相面



第8図 Sn-5% Zn-32% Cd 合金の顕微鏡組織(×100)



第 9 図 耐振形ボンドとレールとの取付け強度試験状況



第 10 図 日立耐振レールボンドの取付け状況

第 4 表 せん断試験結果

試料	端子のレール取付部のせん断荷重 (kg)	
	耐振形ボンド	低温熔接形ボンド
1	5,020	4,940
2	4,460	4,750
3	5,420	4,390
4	5,380	4,820

は、本供試組成合金数が少ないため明確にはできなかったが、Sn 65%，Zn 6%，Cd 29% 近傍にあると思われる。したがって図中ハッチングをつけた領域の組成の合金は液相点 170℃ 以下，固相点 160℃ である。

第 8 図は上記領域に属する合金 (Sn 63%，Zn 5%，Cd 32%) の鑄造組織を示したものである。この図から明らかなように初晶 Cd は若干大きい但他的には細かい三元共晶組織を示している。

上記ハッチングをつけた領域に属する合金 5 種 (第 8 図のハッチング領域内黒点で示した組成の合金) について各種性能を調べた結果、これら合金はすべて引張り強さ 10.2～11 kg/mm²，伸び 16～18%，固有抵抗 10～12 μΩ/cm³ の性能を示した。これらの性能は熔接ボンドの国鉄仕様⁽³⁾に十分合格するものである。なおこれら合金の耐食性，ろう接性も予備的実験の結果良好であった。

4.2 レールへの取付け強度

耐振形ボンドをレールに取り付けた時の強度を調べるため、50kg レールに供試ボンドを Sn-50% Zn-30% Cd 合金を用いてろう接し、レールと供試ボンドとのせん断力を測定した。

第 9 図はリーレ形万能試験機により端子ろう接部分に上方から圧縮荷重をかけその部分のせん断荷重を測定している状況を示す。

第 4 表は本実験結果を示す。この結果よりわかるように耐振形ボンドのレールへの取付け強度はせん断荷重で 5,000 kg 以上であり、ネコ車によるせん断荷重 450 kg の約 10 倍以上であって実用上問題はない。またこの取付け温度は 170℃ 前後であるのでレールをいためる懸念はまったくない。

第 10 図は日立耐振レールボンドの取付け状況を示す。

5. 結 言

レールボンドとして具備しなければならない諸条件を考慮し、種々試作を重ねた結果、導体と端子を圧着する方法による新形レールボンドを開発した。この新形レールボンドにつき諸性能を測定するとともに、そのレールへの取付け法についても実験を行った。

実験結果を要約するとつぎのような結論がひきだせる。

- (1) 従来の低温熔接ボンドに比べて耐振動疲労性がきわめて良好で、たとえば端子の振幅 10 mm の場合、低温熔接ボンドでは 3.5×10⁵ 回で素線切れを発生しはじめるが、新形耐振ボンドでは 11×10⁵ 回でも素線切れをまったく起さない。
- (2) 製品性能のばらつきがほとんどなく、多量生産に適す。
- (3) 引張り強度、電氣的性能、耐食性などが良好である。
- (4) 取付ける際、金属ろうの使用量が少なく、経済的である。
- (5) レールへの取付けが簡単であり、なおその取付け強度が大きく、ネコ車などの通過によってもレールボンドが脱落するようなことはない。また使用する金属ろうの融点は 170℃ 以下であり、レールをいためることはまったく無い。

終りに、本研究に対し終始有効なご協力をいただくとともに端子形状の改善、試作に力を尽された日立電線機器株式会社安島常務取締役ならびに鈴木課長、遠藤、鬼島両氏およびレールボンド設計に当り種々ご指示いただいた日立電線株式会社電線工場岡主任、同社日高工場田中氏に深謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 山路：日立評論 別冊 No. 11, 99 (1954)
- (2) 森永：銅および銅合金 p. 81 (1954)
- (3) 国鉄熔接ボンド仕様書 電 22642 号 D 昭和 24 年 4 月制定，昭和 33 年 2 月改訂