

全国新幹線網用961形試作電車の車両構造 (剛性試験車および先頭車)

Construction of Type 961 Experimental Cars for Nationwide Shinkansen Network (Testcar of Variable Rigidity & Drivingcar)

The electric train, Type 961, improved from its predecessor, Type 951, and intended as a prototype to be run on Nationwide Shinkansen Network, consists of six cars and is specified for a maximum operation speed of 260 km/h. These cars feature all light alloy construction, new air conditioning system and winterization equipment, new fitting and maintenance systems for underframe equipment and many other new engineering ideas. Improvement of the riding quality through adoption of new designs for passenger compartment and seats and reduction of running noise are also attempted in these test cars. Particularly, No. 5 unit, a test car of variable rigidity, is noteworthy in that this is the first of its kind in the world and by using this test car experiments are being conducted to find out the relationship between the riding quality and the car body rigidity by changing the bending rigidity of the car body. The results of these experiments will make valuable data for improving riding quality and determining necessary rigidity of the car.

木本英昭* *Hideaki Kimoto*
笠井靖夫* *Yasuo Kasai*
服部守成* *Morishige Hattori*
元永光一* *Mitsukazu Motonaga*

1 緒言

日本国有鉄道では、長距離高速輸送の充実を図るため全国新幹線網を計画し、昭和44年に951形試験電車2両を実現させ、最高速度286km/hの高速記録を達成して長距離高速運転実現の基礎を固めてきたが、この試験電車は、各種電気機器の容量増大のため車両重量が増大する傾向にあり、全般的に軽量化することが全国新幹線電車の最大の課題となっている。

今回、軽量高速車両の実現を重点に試作電車の計画が進められ、性能向上、異周波対策、雪害対策などを含めて、6両1編成の961形試作電車が企画された。

日立製作所では、頭初からこの計画に参画し、車体軽量化の観点から剛性と乗りごこちの関連を把(は)握するための可変剛性車体、軽量一般車体構造、空調・換気方式、耐雪方式、高速台車などの新技術の研究を進め、今回、961形試作電車の5号車、(剛性試験車)および6号車(先頭車)各1両を完成し納入した。

本稿においては、この電車の車体構造、空調・換気、耐雪設備、高速台車および剛性試験車の剛性について記述する。

2 961形試作電車の概要

961形試作電車の外観は図1に示すように、現在の東海道新幹線電車と同様な形状をしているが、車体は上屋根、スカート部分まで含めたボデーマウント構造で、窓は航空機に類似した小窓にして、軽量化と剛性を得るようにしている。

この電車の5号車および6号車のおもな仕様は次のとおりである。

名称：961形試作電車
自重：63.0 t (6号車)
46.0 t (5号車)
車体寸法：長さ 25,000mm
幅 3,380mm
高さ 4,000mm
最高運転速度：260km/h
台車間距離：17,500mm

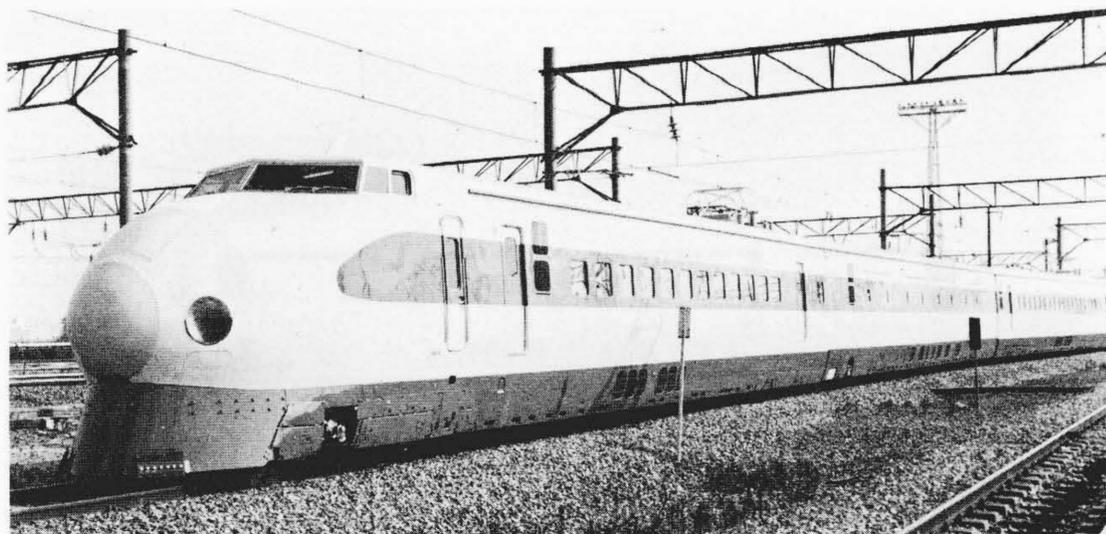


図1 961形試作電車の外観 961形6号車(先頭車)とその次の5号車(剛性試験車)を示す。
Fig. 1 Exterior of Train Type 961

* 日立製作所笠戸工場

電気方式：AC25kV 50/60Hz
 運転方式：列車自動制御(ATC)および列車自動運転(ATO)
 主電動機：275kW 4台(1両当り)
 台車形式：DT9013
 DT9013A(5号車後位のみ)

車輪径：980mm
 軸距：2,500mm

2.1 961形5号車

5号車は剛性試験車と呼ばれる特殊車で、車体の曲げ剛性と乗りごこちとの関係を究明することを目的とし、将来の全国新幹線量産車の軽量車体のあり方を検討しようとするもので、世界で初めての試みである。

車体は図2に示すように、幅4,000mm、高さ1,500mmの大開口部を左右各4箇所ずつ有し、この部分に剛性の異なった剛性可変柱を取り付けることにより、車体の剛性を変化させるようになっている。

また、この大開口部は試験用の荷重の積込みにも使用するため非気密構造となっており、前後の妻部に設けた気密式開き戸によって前後の車両としゃ断している。

このほか、後位には従来の点対称台車のほかに、線対称台車および直角カルダン台車も装備可能としてあり、このため枕(まくら)はりは特別な構造となっている。また前位の連結器緩衝装置受けには信頼性向上と工作近代化を考慮した新構造を採用し、従来方式と比較検討できるようになっている。

2.2 961形6号車

6号車は集電装置付の制御電動車で運転室、客室、機器室および乗務員室より構成されている。屋根上には2台の集中式空気調和装置を搭(とう)載し、連続換気方式による給排気装置を備え、さらに機器室には多雪地帯でも外気導入可能な融雪装置を装備している。

客室には天井全面に小さな穴のある通気天井方式を採用して客室冷房の改善を試み、運転室には将来の全自動運転方式に備えた各種試験装置を設備している。

2.3 台車

951形試験電車の走行試験によって、ばね下重量が大きいと輪重変動が大きくなることが明らかになったので、歯車装置を台車わくに装架して大歯車と車輪の間をたわみ板式の継手で結合した構造の台車を試作し、250km/hの走行試験において良好な結果を得た。

したがって、961形試作電車では歯車装置を台車わくに装架する方式とし、輪重変動を小さくするため、静的輪重およびばね下重量をできるだけ少なくする方針で設計、製作している。また、高速化に伴う車両重量増加の対策として、台車枕はりには軽合金を採用している。台車の外観は図3に示すとおりである。

一般に、駆動装置は主電動機と歯車装置の関係が前後の軸で台車中心に対して点対称であるが、961形試作電車では台車の挙動を究明するために、5号車の後位台車のみ、主電動機と歯車装置の関係が前後の軸で、台車中心に対して線対称とした台車となっている。

3 構体構造(Body Structure)と構体特性値

構体構造は上屋根、スカート部分まで含めたボデーマウント構体で、軽量化と剛性の面で有利な構造となっている。構体構造は、図4に示すように側柱がスカート部まで一体に延びており、窓部のみ2本になった1本柱構体である。上部は上屋根部分まで一体となった側柱で、円形に近づけ、高速でずい道に入る際の気圧変動に対して有利な構造をもっている。

台わくの側ばりと側柱の結合には大形押し形材の継ぎ金を用いて側柱の部分で断続的に結合してある。

使用材料としては外板、床波板、屋根波板を耐食アルミニウム合金A5083P、他の骨組にはすべて強度の高い三元合金A7N01を使用して軽量化を図っている。

5号車は特殊車で構体の基本思想は一般車と共通であるが、左右側部の各4個の幅4,000mm、高さ1,500mmの大開口部の異なる構造としてある。この部分は特に強度上の影響を受けるため、四隅(すみ)を250mmの半径を有する構造とし、側柱を特殊加工して応力集中部に溶接部が位置しないように配慮している。

なお、一般車を代表して2号車で、また特殊車である5号車でそれぞれ構体の静的荷重試験を実施し、いずれも安全性が確認されている。

表1は、構体特性値を現在の東海道新幹線電車と比較して示したものである。これよりわかるように、鋼製構体に比較して、ボデーマウント軽合金構体は構体特性値の面において有利であり、軽量といえる。また、951形試験電車構体に比べて、本試作電車は窓を小形化することにより、さらに軽量化することができた。

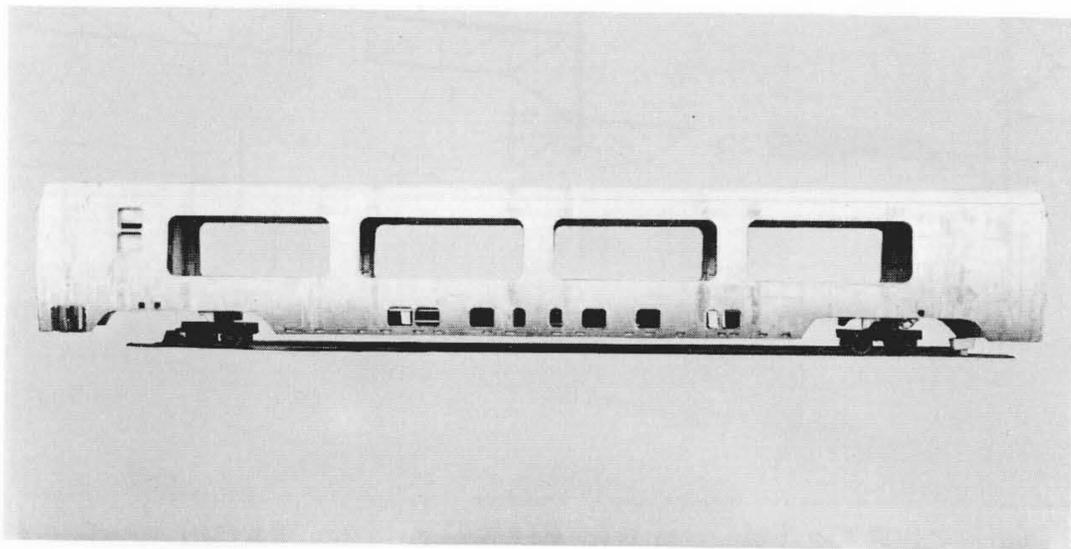


図2 5号車(剛性試験車)の構体 側構体には幅4,000mm高さ1,500mmの大開口部がある。車端よりの前後大開口部に剛性可変柱を取り付けて剛性を変える。

Fig. 2 Exterior Body Structure of Number 5 Car

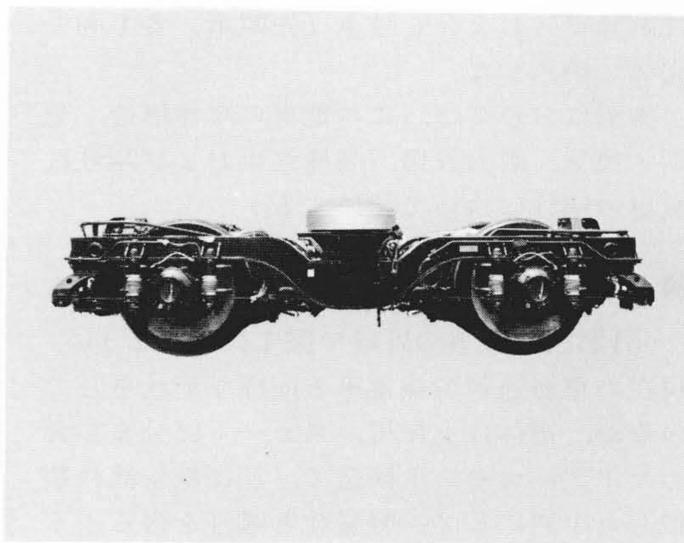


図3 形式DT9013台車 現在の東海道新幹線電車用台車と似ているが、高速性能は向上している。

Fig. 3 Truck Type DT9013

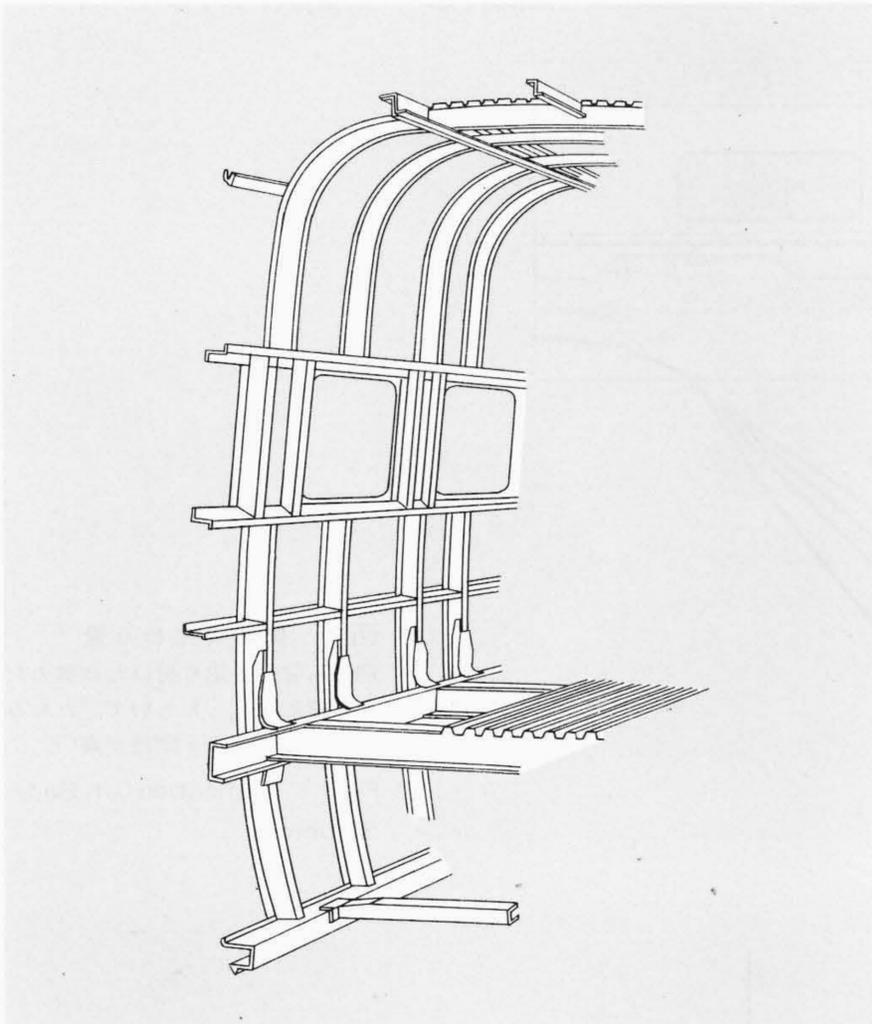


図4 構体構造 上屋根, スカート部まで延びた側柱で, ボデーマウント構体となっており, 窓は小さく一本柱である。

Fig. 4 Body Structure

4 961形5号車の静的荷重試験

静的荷重試験は一般車を代表して2号車と, 特殊車の5号車で実施したが, 4.においては5号車について述べる。

図5は荷重試験状況である。

図2に示すような大開口部を有する構体において, 曲げ剛性を変化させるために最も容易かつ有効な方法は, 第一番めと第四番めの大開口部の中央に柱を設置して, この柱をいろいろ変える方式である。今回, この剛性可変柱は幅500mm,

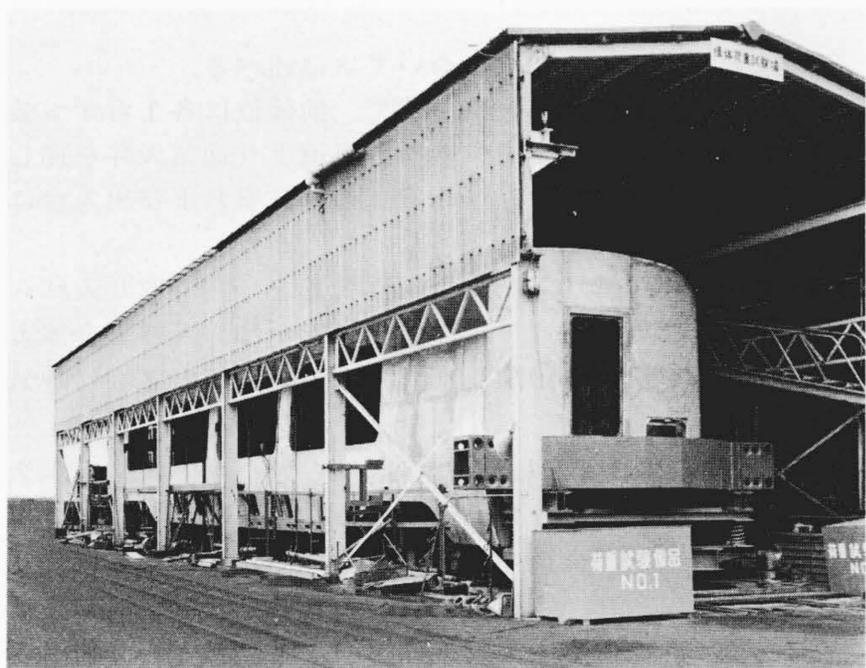


図5 構体荷重試験状況 垂直曲げ試験中の状況を示すもので, 油圧トナメント方式により垂直負荷を加えている。

Fig. 5 Load Test of Body Structure

表1 構体特性値 現在の東海道新幹線電車の鋼製鋼体と比較して示してある。軽合金製ボデーマウント車体の優位性がよくわかる。

Table 1 Characteristic of Body Structure

特性値	軽合金製			鋼製(現行新幹線電車)	
	961形 2号車	961形 5号車	951形 先頭車	21形式 先頭車	25形式 中間車
相当曲げ剛性 (kg・mm ²)	2.68×10 ¹⁴	1.26×10 ¹⁴	2.82×10 ¹⁴	1.88×10 ¹⁴	1.73×10 ¹⁴
相当ねじり 剛性 (kg・mm ²)	56.3×10 ¹²	24.1×10 ¹²	57.9×10 ¹²	—	41.8×10 ¹²
曲げ固有 振動数 (Hz)	11.8	12.1	13.2	—	11.3
ねじり固有 振動数 (Hz)	5.0	3.9	11.0	—	5.2
構体の長さ (mm)	24,500	24,500	24,500	24,500	24,500
構体の重量 (t)	7.5	7.0	8.5	11.4	10.5
備考	上屋根, スカートを 含めたボデー マウント車体	同左 剛性試験車 (剛性可変 柱なし)	上屋根, ス カートを 含めたボデー マウント車 体	上屋根方式 短スカート	同左

750mm, 1,500mmの3種類として, 剛性の変化を実測した。この剛性可変柱は荷重試験時および走行試験時にくり返し着脱することが必要であるから, ハックボルトを使用した。剛性可変柱の取付状況は, 図6に示すとおりである。

剛性可変柱による剛性の変化状況の実測結果は図7および図8に示すとおりである。

曲げ剛性は剛性可変柱なし, すなわち柱幅0mmの1.26×10¹⁴ kg・mm²から, 柱幅1,500mmの2.2×10¹⁴ kg・mm²の範囲に変化させうることが確認されている。

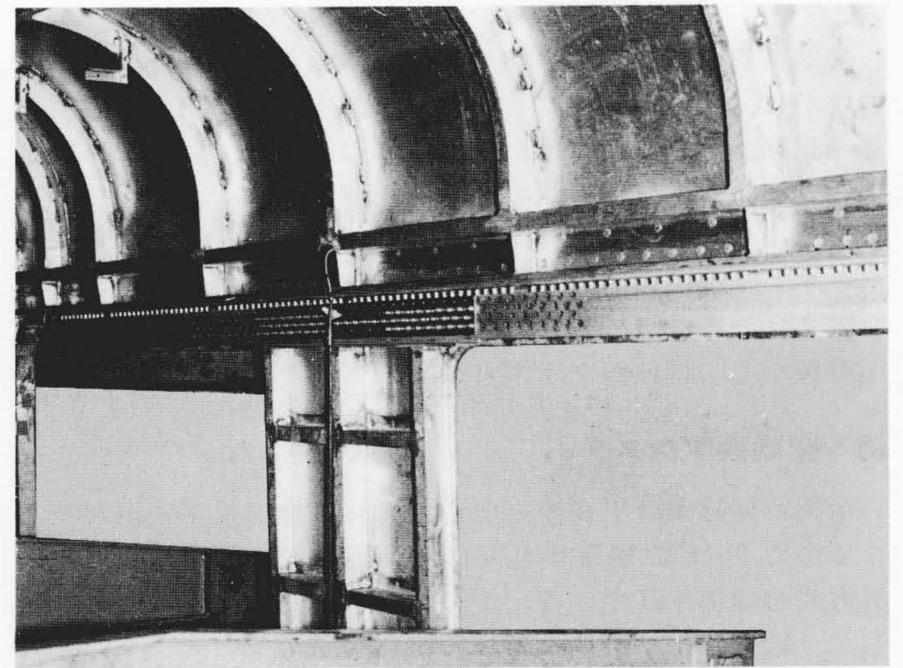


図6 剛性可変柱の取付状況 中央の柱が剛性可変柱でL形の部材を介して, 開口部上下部材にハックボルトで取り付けてある。

Fig. 6 Fixing of Post for Changing Carbody Rigidity

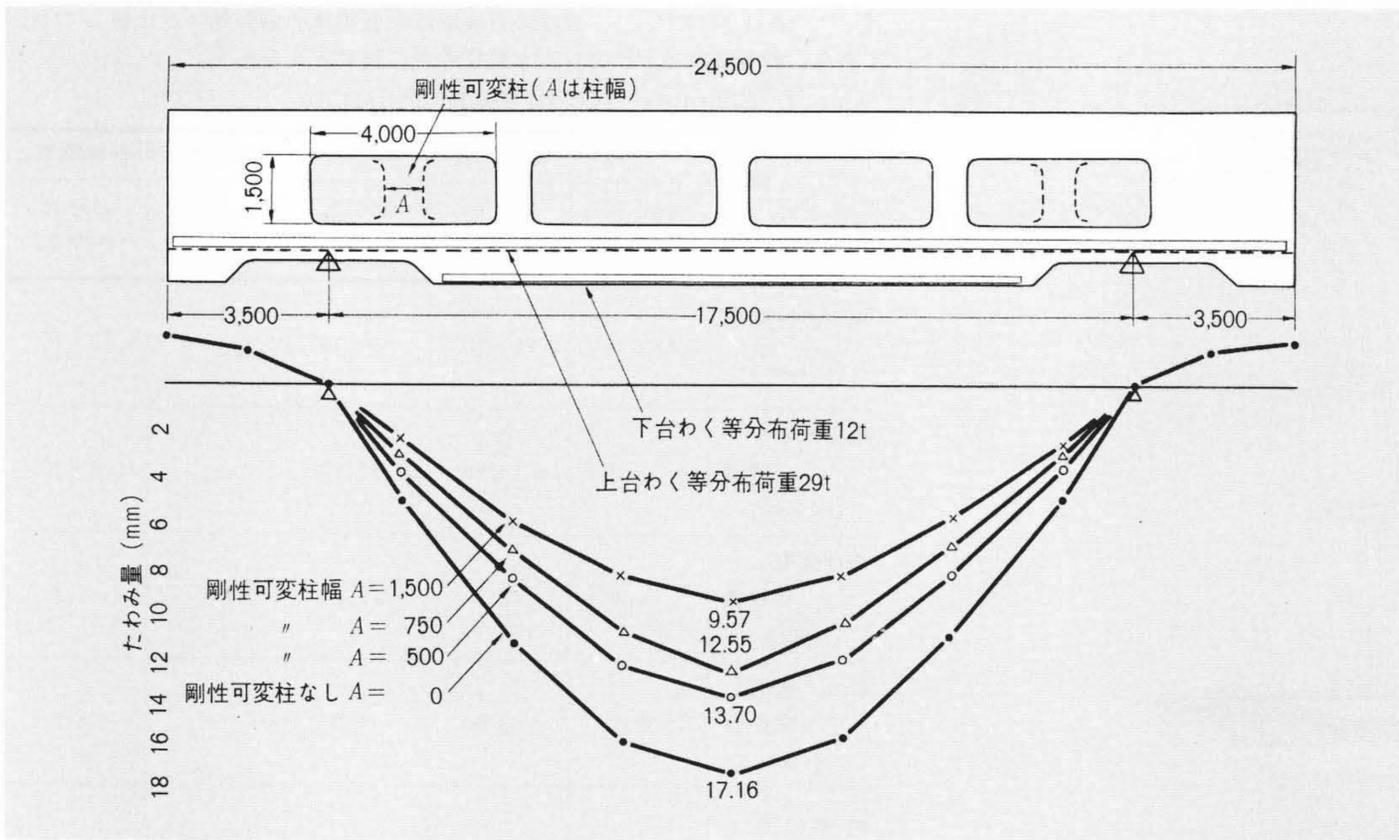


図7 構体のたわみ量
剛性可変柱を取り付けた状態のたわみ曲線を示したもので、たわみ量の少ないほうが剛性が高い。
Fig. 7 Deflection of Body Structure

表2 5号車(剛性試験車)の構体特性値 剛性可変柱取付け時における構体特性値で、大開口部の及ぼす影響と柱の効果がよくわかる。

Table 2 Characteristic of Body Structure of Number 5 Car

剛性可変柱 (mm)	0 (剛性可変柱なし)	500	750	1,500
相当曲げ剛性 (kg・mm ²)	1.26 × 10 ¹⁴	1.58 × 10 ¹⁴	1.73 × 10 ¹⁴	2.26 × 10 ¹⁴
相当ねじり剛性 (kg・mm ²)	24.1 × 10 ¹²	—	30.5 × 10 ¹²	—
曲げ固有振動数 (Hz)	12.1	—	13.0	—
ねじり固有振動数 (Hz)	3.9	—	4.0	—
相当横曲げ剛性 (kg・mm ²)	2.55 × 10 ¹⁴	—	—	—
横曲げ固有振動数 (Hz)	14.0	—	—	—

静的荷重試験は、この曲げ剛性を得るための垂直曲げ試験のほかに、剛性可変柱なしの状態を基本として圧縮試験、ねじり試験、3点支持試験、垂直曲げ振動試験、ねじり振動試験および新しい試験として、横曲げ剛性試験、横曲げ振動試験をそれぞれ実施し、いずれも大開口部が存在するにもかかわらず、強度上欠陥のないことが確認されている。

表2は、各段階の剛性可変柱取付け時における剛性、固有振動数などの特性値を示すものである。

5 空調換気システム

全国新幹線網は現在の東海道新幹線に比べてずい道が多くなるので951形試験電車と同様に、961形試作電車にも連続換気方式が採用されている。この方式は外気の圧力の変動に対して、給気および排気に静圧、風量特性の立ったファンを用いて車内の圧力を一定に保つ方式である。

全体の空気調和、換気システムを代表して961形6号車の機器配置を示すと図9のとおりである。

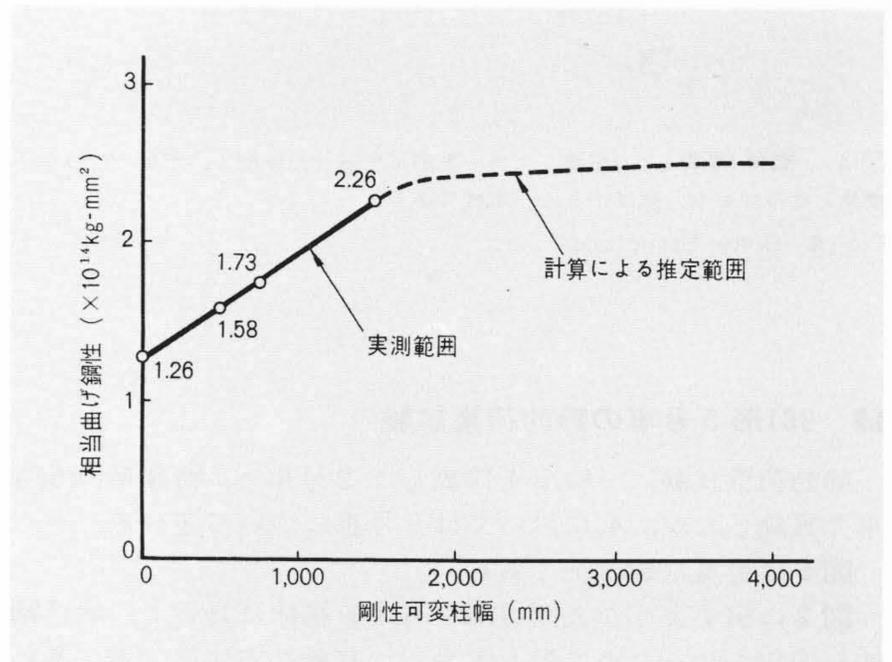


図8 剛性の変化 剛性可変柱の幅と相当曲げ剛性の関係を表わすもので、○印の数値は実測値を示す。
Fig. 8 Change of Rigidity

空調換気システムの要点について次に述べる。

- (1) 空気調和装置は屋根上集中式で、前後位に各1台ずつ装備しており、冷風は客室中央の冷房風道より通気天井を通して客室に給気する。なお、運転室、乗務員室および出入台には枝風道により給気する。
- (2) 新鮮外気は新鮮外気給気用融雪装置を介して取り入れられ、天井上の給気風道にて車体中央に導かれ、天井裏全体より成るリターン風道に分配され、リターン空気とともに空気調和装置に入る。
- (3) リターン空気は、客室天井に設けられたロールフィルタ装置より天井裏のリターン風道に入る。
- (4) 排気は客室下部全長の排気口および出入台の排気口より床中排気風道に入り、床下排気装置より再び床中主電動機風道を通して、前位台車主電動機に導かれ冷却風として利用される。
- (5) 後位台車主電動機冷却風は主電動機給気用融雪装置より、床中主電動機風道を通して給気する。

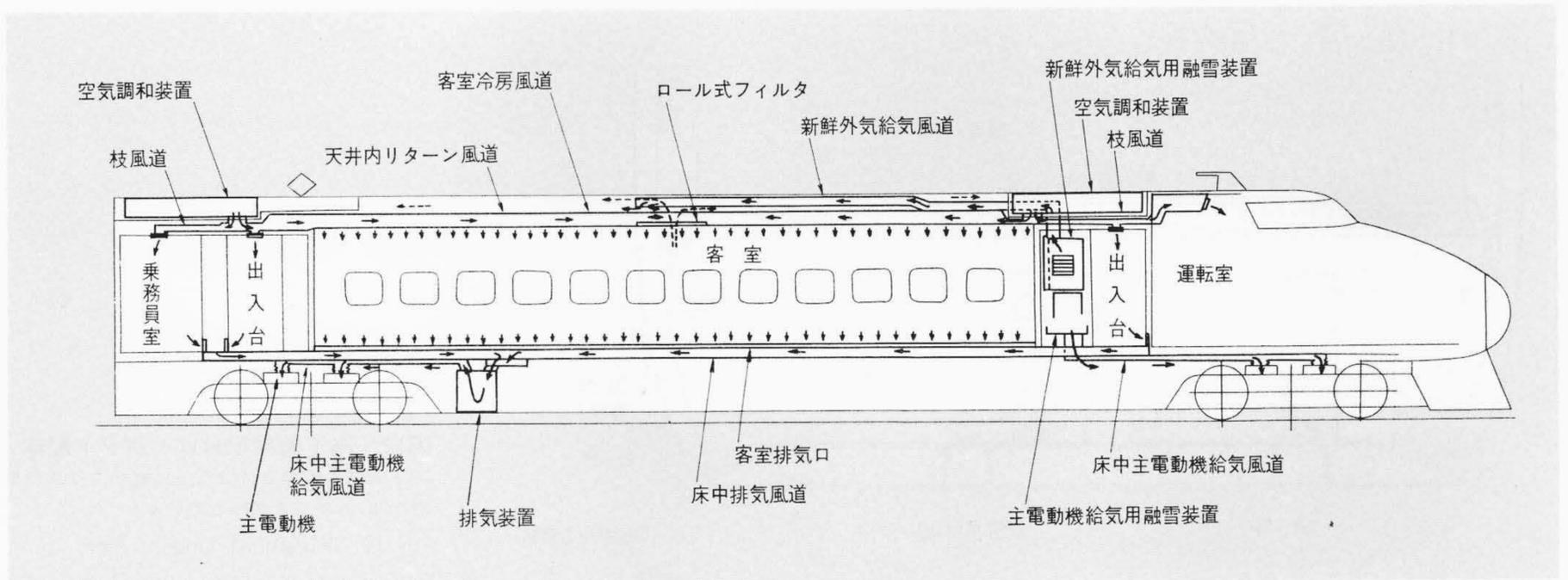


図9 空調換気システム 6号車(先頭車)の場合の空調換気系統図で、太い矢印の方向が風の流れを示している。
Fig. 9 Air Conditioning System

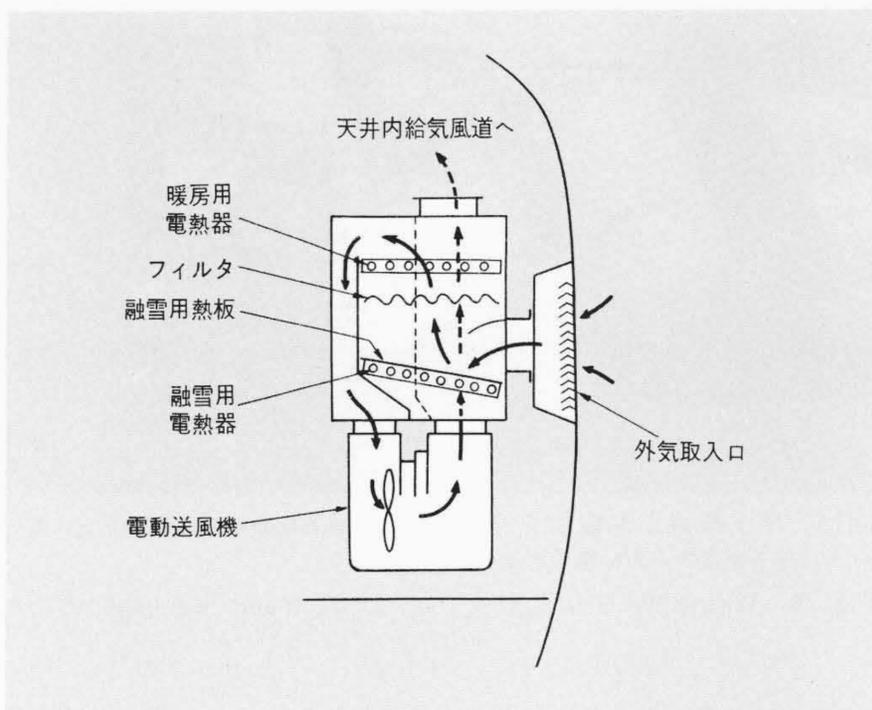


図10 融雪装置 新鮮外気給気用の融雪装置を示すもので、融雪装置と給気用電動送風機とを直結している。
Fig. 10 Equipment for Thawing

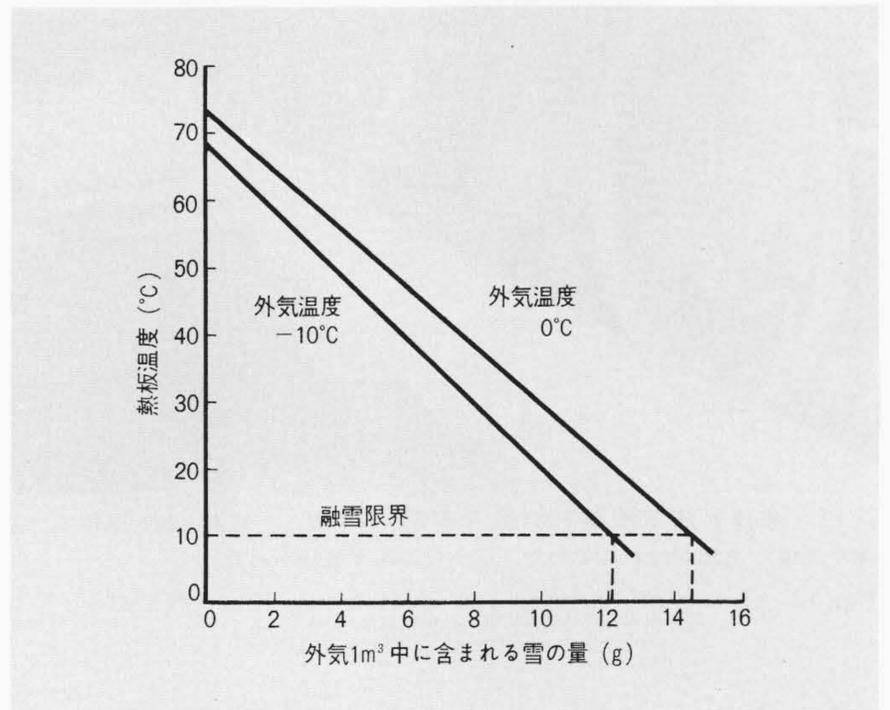


図11 熱板温度と融雪量関係の一例 新鮮外気35m³/min導入したときの熱板温度と融雪量の関係を示している(計算値)。
Fig. 11 Power of Thawing

6 融雪装置

図9に示す空調換気システムのうち、新鮮外気給気用融雪装置の部分の系統的を示すと図10のようになる。寒冷地において雪を含んだ空気から除雪する方式としては、711系北海道向け交流電車などですでに実用化されている熱板融雪方式が小形軽量化に適した構造であり、今回もこの方式が採用されている。すなわち、外部より導入された雪混じりの空気を電熱器により熱せられた熱板に吹きつけて雪を融水として分離する方法である。

しかし新幹線では、従来の融雪装置と異なる条件として高速走行に伴う外部気圧の変動に耐えることが必要であるため、全溶接組立による気密構造となっている。また冷たい外気を多量に取り入れるため、大容量の電熱器を設けてこれを室内温度まで予熱することが必要となり、電熱器を融雪装置内に組み込んだパッケージ形にまとめられている。この電熱器の熱に耐えるためにも融雪装置は全溶接構造となっている。

装置の融雪能力の一例を示したのが図11である。融雪用熱

板の温度は711系北海道向け交流電車における実績から、最悪の気象条件においても10°C以上を保てるように設計されている。そしてこの値を限界と考えた場合、-10°Cの外気を35m³/min導入したとき、1m³中に許容できる雪の量は約12g、0°Cのときは約14.5gとなっている。

降雪時に外気1m³中に含まれる雪の量については気象状況により一定しないが、降雪地域では1m³中に約13gの雪を含有するといわれているので、今回の融雪装置はほぼこれを満足する設計となっている。

7 床下機器取付方式

床下機器の取付けについては、ボデーマウント車体の構造的制約および保守作業の効率向上を考えると、床下機器群を一括して取付け、取はずしできると同時に個々の機器ごとにも取付け、取はずしができる構造であることが必要である。

961形試作電車では図12に示すように、機器取付はりの上に機器を据え付けて、そのはりと側構下部とをNUボルトにより締結する方法をとっている。また将来の保守作業の機械化

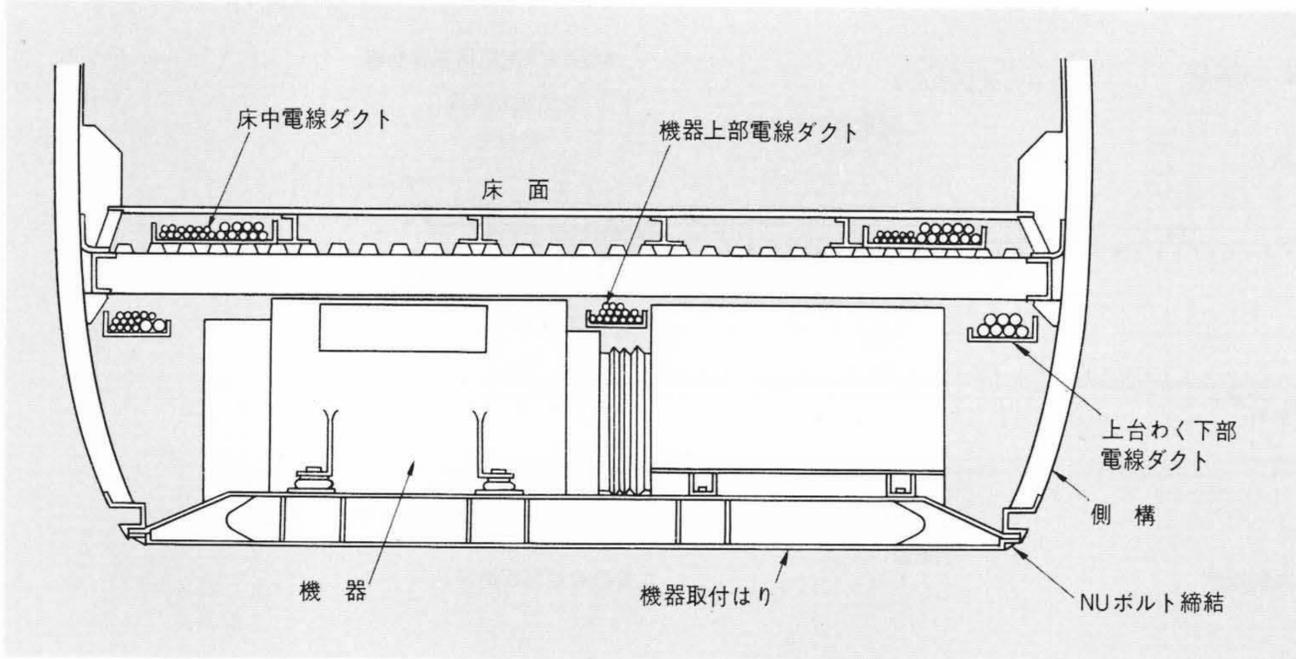


図12 床下機器取付けとダクト配線
床下機器を機器取付はりに載せ、はりは車体へNUボルトで締結している。
Fig. 12 Fixing of Underframe Equipment and Wiring by Ductsystem

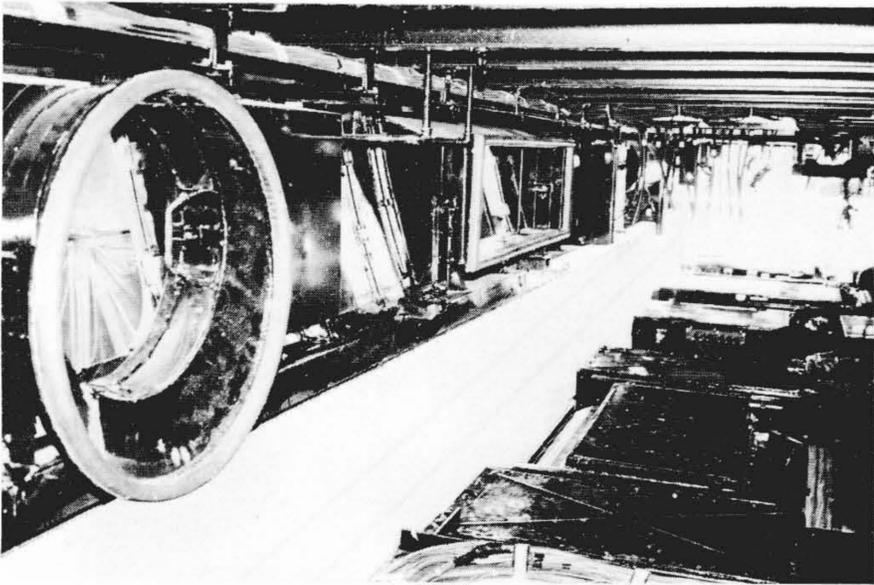


図13 車体と床下機器との結合直前の状態 写真上側が車体で、左側が側構、上部が台わくであり、下側には床下機器がある。

Fig. 13 Fixing of Carbody and Underframe Equipments

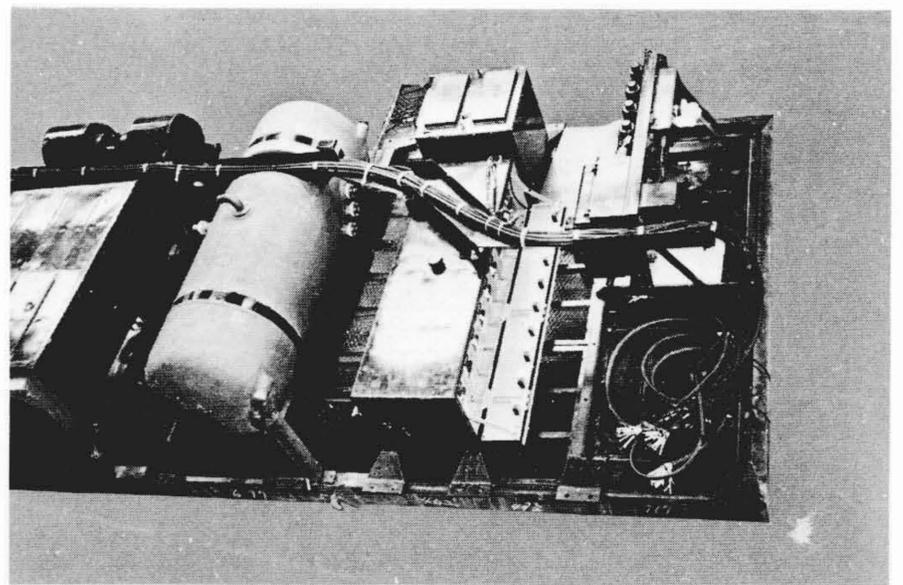


図14 床下機器上部電線ダクト配線 機器配置用治具台わく上に並べられた床下機器の上面に電線を載せ配線している。

Fig. 14 Wiring by Ductsystem Over Underframe Equipments

を考慮して側構下部の締結用ボルト穴位置の寸法精度を高め、さらに製作作業を効率的に行なうための特別の作業用台わくを製作し、その上に機器群を寸法精度良く並べ、これらの機器群の上部より車体を下降させ、車体と機器取付はりを結合する一括取付方式を採用している。

図13は機器群の上部より車体を徐々に下降しているところである。

8 配線方式

今回の試作電車では、ミニコンピュータによる自動制御、故障内容モニタリング、機器投入開放のリモートコントロール化などにより電線の使用量が格段に増大したため、スペース効率、作業の容易化を考慮し、天井、床中、床下ともダクト配線となっている。図12は、床中および床下のダクト配線の状態を示している。

車体中央部においては機器群を取はずしができるようにするため、機器上部の一部に凹(おう)部を形成し、そのスペースに設けられた電線ダクトに各床下機器への電線を集約して配線している。

車体側の電線は上台わくの下面に設けた電線ダクトに配線され、機器上部電線ダクト配線との結合は機器群の両端と中央部の3個所に設けたつなぎ箱およびコネクタによって結合する方式となっている。図14は機器上部電線ダクト配線の状

態を示すものである。

車体両端部においては、台車および枕はりの構造上、台わく下部電線ダクトを設けることができないため、床波板と床板との空間に電線ダクトを設けて配線する構造となっている。

9 結 言

961形試作電車は全国新幹線電車として、全軽合金製ボデーマウント車体による軽量化、輪重変動の少ない台車、融雪装置を含めた新しい空調・換気システム、床下機器取付、配線の合理化などのほか、世界でも初めての試みである剛性試験車といった非常に困難な条件が多かったが、いずれも頭初の目的を達成することができた。

現在、試運転も成功のうちに完了し、定置性能、機能試験が行なわれている。

今後、引き続き行なわれる高速走行時の各種性能、機能試験および5号車による車体剛性変化試験と合わせ、これらのデータは将来の全国新幹線電車網開発に重要な役割を果たすものと考えられる。

終わりに臨み、本試作電車の設計、製作に始終懇切なご指導を賜った日本国有鉄道車両設計事務所および鉄道技術研究所の関係者のかたがたに対し深く感謝の意を表わす次第である。