

超高層ビル用電力幹線の動向

Trend of Power Soft Cable for Tall Building

With the increase of high-rise buildings conventional bus ducts which have been the mainstay of the riser mains are being replaced by the cable type ones with aluminium conductors for such reasons as ease of engineering work, inspection and maintenance.

The distribution systems within buildings mostly employ 3-phase, 4-wire spot net work distribution systems. However, along with the increase in installation capacity, 3.3 kV–6.6 kV high voltage distribution has come to be employed. The equipment for those distribution systems is required to be of such type that intermediate supports can be dispensed as much as possible from the viewpoint of labor saving.

Especially in the field of power feeder which requires low voltage drops such as for computer power source, completion of a low voltage type cable is much hoped for to replace conventional insulated type bus ducts, and already a few such cables have been placed on the market.

河野広実* Hiromi Kono

1 緒言

昭和43年4月に完成した霞が関ビル(地上36階、地下3階、地上高147m)は、わが国における本格的な超高層ビルの幕あけであった。

従来、都市計画区域内に建てられる建物は31mに規制されていたが、これは敷地の密度を規制し快適な都市環境を維持することと、地震などに対する建築技術面から31m(約100尺)にしておくという要求によるものであった。しかし、過密化する都市においては高層化によって土地の有効活用を図り、都市

の近代化機能を満たす道路、公園などの施設を充実させる必要がある。また構造力学の進歩によって超高層ビル建設が可能になったなどにより、容積率など適切な制限を設けて昭和39年7月に建築規準が改正された。

これによって超高層ビルは、にわかに脚光を浴びるところとなり、霞が関ビルについて世界貿易センタービル、京王プラザホテル(地上高170m)が建設され、わが国も超高層ビル時代を迎えることになった。

これらのビルは収容人員が多く諸施設も大きいのでビル全体の消費電力は大規模となり、受電容量は10~17MVAと従来ビルに比べて3~4倍にも達している。したがって、これらのビルに使用される幹線は大サイズとなるほか、特に信頼性が要求され保守点検が容易であること、ビルの柔構造に適合する耐震性にすぐれていることなど超高層ビルでの特殊な条件が要求されるほか特に経済性が要求される。

これらの幹線としては、各超高層ビルにその都度新しいものが開発され使用されている。また最近では電子計算機の活用が盛んになり、この回路用として電圧降下の低いものが要求されるなど新たな傾向が見られる。

2 超高層ビル用幹線の動向

超高層ビルへの移行に伴って図1のように受電容量は増加しており、また信頼性の向上などから受配電方式全体においても種々の変革がみられる。

2.1 配電方式の傾向

ビルへの配電方式は、従来の1~2回線引込みから最近では供給信頼度の向上を重視してループ方式または図2のようなスポットネットワーク方式による受電が多くなってきた。スポットネットワーク方式は低圧ネットワーク方式の一種で、2回線以上の一次配電線からそれぞれ変圧器に供給し、二次

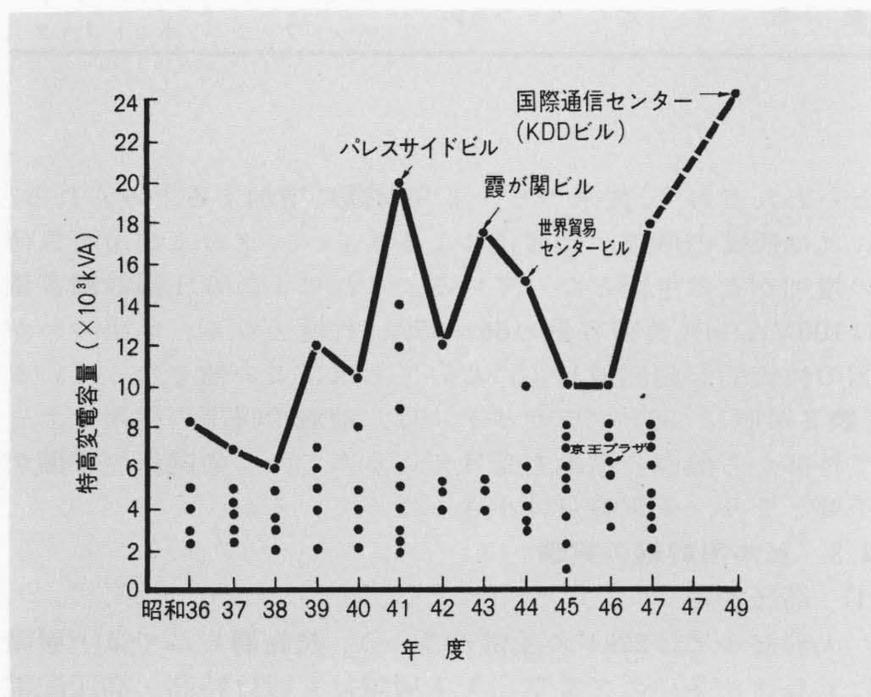


図1 主要ビルにおける受電容量の変遷 昭和36年以降に建設された主要ビルのうち、特高受電関係の受電容量実績を示す。

Fig. 1 Transition of Power Capacity of Representative Commercial Building in Japan

*日立電線株式会社日高工場

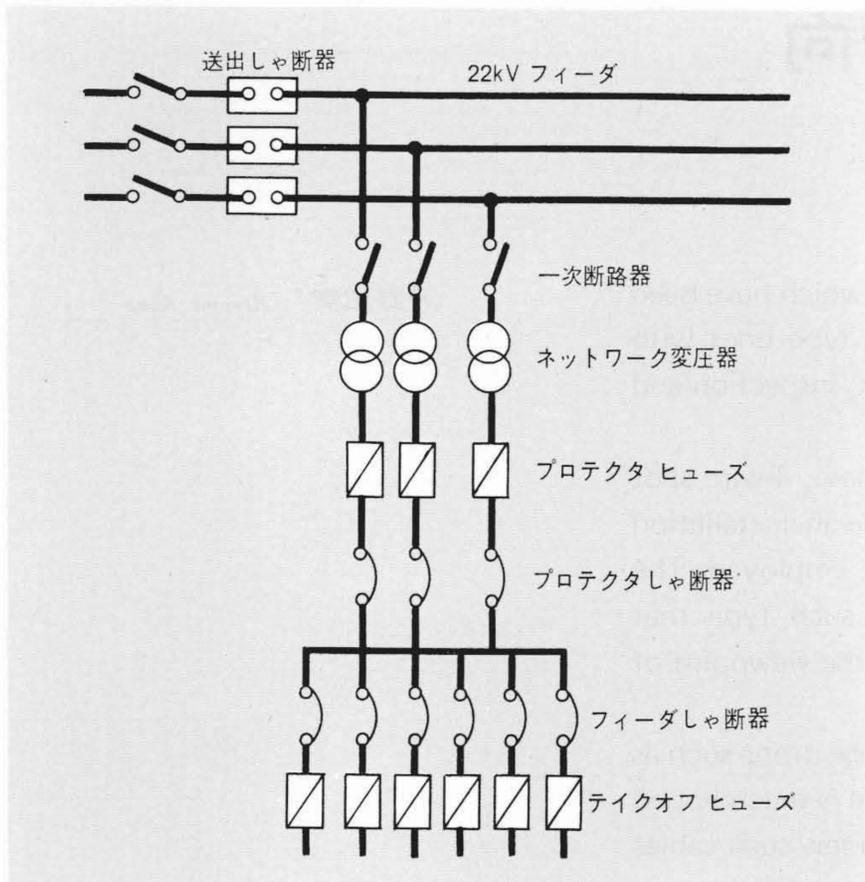


図2 スポットネットワーク受電方式 ネットワークトランス3台での基本形態を示す。

Fig. 2 Typical Form of Spot-Network Circuit Arrangement

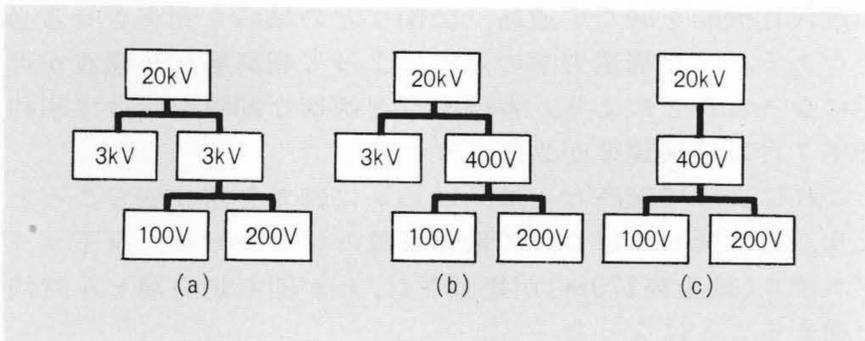


図3 ビル内配電系統 22kV受電でもに使用される配電方式の例を示す。

Fig. 3 Typical System Voltages for Electric Power System of Commercial Building

側はネットワークプロテクタを介して並列にした方式で事故時においても一回線が健全であれば最小限の電力供給ができるので、ビルのように負荷の集中する個所で高度の供給信頼度を必要とする個所に適している。前出の超高層ビルのうち、世界貿易センタービル、京王プラザホテルでは22kV受電によるスポットネットワーク方式が採用されている。今後の超高層ビルでは、ほとんどのこの方式が採用されるとみられる。

配電方式はビルの使用目的によって異なり、図3のような方式があるが実施例からみると(b)または(c)の方式が増加する傾向にある。すなわち、ビル用としておもに経済的見地から400V配電方式が多く採用されてきており、415/240V(50Hz)、460/265V(60Hz)が今後大幅に使用されるとみられる。また400V給電の電動機の限度は700kWといわれているので、ビル内の電動機のほとんどは400Vで供給可能である。それ以上の負荷となる場合には、22kVより3.3kVで分岐供給する方式、すなわち図3の(b)方式がとられる。霞が関ビルでは一部(b)方式が採用されている。

2.2 負荷容量の想定

ビルの設備内容によって異なるが、ほぼ表1のようになる

表1 所要電力量と分布 従来ビルと超高層ビルの場合の比較および負荷の分布を示す。

Table 1 Connected Load and Distribution by Power Load Classification

負荷の種類	延べ面積あたりの設備電力 (W/m ²)		負荷の分布 (%)		
	従来のビル (10階建て程度)	超高層ビル (40階建て)	地下	中層階	上層階
電灯	20~30	50	各階平等分布		
冷房	40	50	55~64	9~18	15~19
エレベータ	7	10~15	5	30	65
その他動力	30	30	80	10	10
総合	97~107	140~145	50	25	25

表2 わが国超高層ビルの規模と受電容量 代表的な超高層ビルの仕様と幹線方式の概要を示す。

Table 2 General Feature and Electric Power System of Representative Tall-Buildings in Japan

規模	名称	霞が関ビル	世界貿易センタービル	京王プラザホテル
ビルの用途		事務室	事務室	ホテル
建築延面積 (m ²)		153,224	153,840	116,237
階数(塔屋/地上/地下)		3/36/3	5/40/3	2/47/3
エレベータ台数		34	31	25
地上高 (m)		147	152	170
特高変圧器 (kVA)		3,500×2 2,000×3 1,500×3 (計 17,500)	1,000×3 " " 2,000×3 (計 15,000)	2,000×3 (計 6,000)
単位面積当りの容量 (kVA/m ²)		114	98	52
高圧垂直幹線		アルミ導体 鉄線がい装架橋ポリエチレン 電力ケーブル		-
低圧幹線		アルミパイプ	絶縁コルゲート アルミパイプ	ACSR-AS-VV ケーブル
受電方式		ループ方式	スポット ネットワーク	スポット ネットワーク

といわれており、従来のビルより大幅に増加するとみられる。これは照度の増加、高層化によるエレベータおよび冷房負荷の増加がその主因となっている。これによる変圧器設備容量は100VA/m²(負荷容量の65~85%)程度となる。前出のわが国の代表的な超高層ビルにおいてもほぼこの値となっている(表2参照)。京王プラザホテルは、地域冷暖房の採用によって外部から熱源の供給を受けているので、この関係の設備が不要となり、受電容量は小さくなっている。

2.3 ビル用幹線の実績

(1) 高圧幹線

大形ビルでは22kVの受電が多いが、超高層ビルでは上層階にも負荷が多いので電気室を上層階にも設け特高・高圧配電が行なわれている。霞が関ビルや世界貿易センタービルにおいてもこの方式が採用されている。

幹線としては鉄線がい装架橋ポリエチレン電力ケーブルが使用されている。このケーブルは立坑ケーブルとして実績が多く、上部一点支持方式がとられている。外国の例でも、ニューヨーク市のWorld Trade Centre (108階建て)では、中間階に4個所の二次変電所を設け13.8kVの鉄線がい装ケー

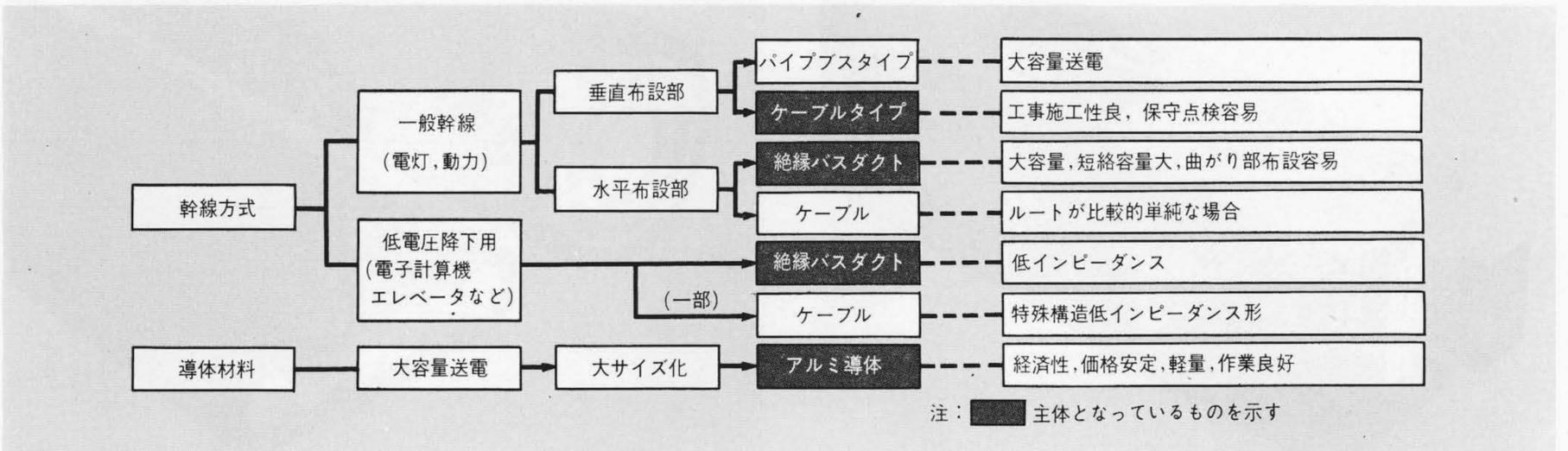


図4 超高層ビル用幹線の方式 過去種々のものが使用されているが、現在の方向としては図のようになっている。

Fig. 4 Electric Power Mains for Tall-Building in Japan

ブルによって供給されている。

(2) 低圧幹線

大容量幹線はバスダクトが主体であるが、超高層ビル化に伴って垂直幹線にはアルミニウム(以下アルミと略す)を導体とする新しいものが開発されている。低圧幹線は量が多いので配電全体の経済面、技術面でその影響が大きいといえる。

前出の超高層ビルにおける設備容量および使用垂直幹線の種類は、表2に示すとおりである。超高層ビル用としては当初大容量送電を主眼としてパイプブスタップのものが使用されていたが、しだいに工事施工面での改善および保守点検などの点からケーブルタイプのものに移行してきた。前出以外のその後建設された100mクラスのビルにおいてもケーブルタイプのものがおもに使用されている。全体的にみて幹線の傾向は、図4のとおりである。

3 超高層化、大形化に伴う諸問題

幹線に要求される事項は概して次のとおりである。

- (1)大容量であること。
- (2)耐震性があり、ビルの柔構造によく適合すること。
- (3)短絡容量が大きいこと(特にスポットネットワークの場合大きい)。
- (4)電圧降下が小さいこと。
- (5)保守点検が容易であること。
- (6)布設工事が簡単であること。
- (7)経済的であること。

4 問題点を考慮した超高層ビル用幹線

日立電線株式会社でも上記の要求事項を考慮したいくつかの幹線を開発し、実用に供している。

(1) 一般低圧垂直幹線としては、

全般的傾向として軽量経済性の面から一般にアルミが使用されているがこのアルミを導体とし中心に鋼心を配したアルミ被鋼心アルミ導体ビニル絶縁ビニルシースケーブル(ACSR/AS-VV)を開発し、京王プラザホテルに納入した。

このケーブルは、

(a)鋼心入りであるため、機械的強度がすぐれ一点支持も可能で一般ケーブルに比べて支持間隔が長くとれる。このほか、取扱性が高いなど工事面で種々の長持ちを持っている。図5はつり止め状況を示すものである。

(b)可とう性が良く弾性に富むので、短絡時の電磁力に対しても有効に作用し、相間スペーサなどへの電磁力の影響が計算

値に対し30~40%減少することが実験により確認されている。(c)分岐取付けが容易で、工場プレハブができるので現地で大幅な省力化ができる。図6はプレハブ分岐の例を示すものである。

などの長持ちを持っており、この種の幹線は垂直幹線として今後も多く採用されるものと考えられる。

(2) 低電圧降下を要求される幹線としては、

電子計算機用回路などには特に低電圧降下のものが要求されているが、これらの幹線には絶縁形バスダクトがおもに用

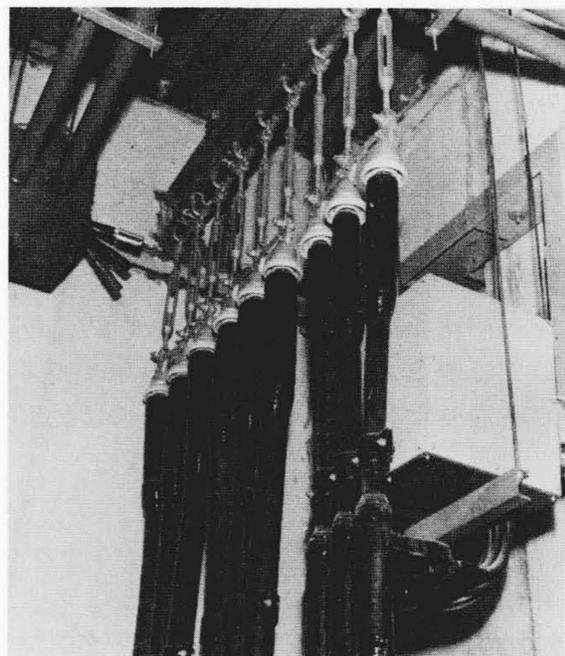


図5 ACSR/AS-VVのつり止め布設状況 中心の鋼心を圧縮によってクランプし、天井はりに一点支持している。

Fig. 5 Suspension of Riser Cables at the Upper End

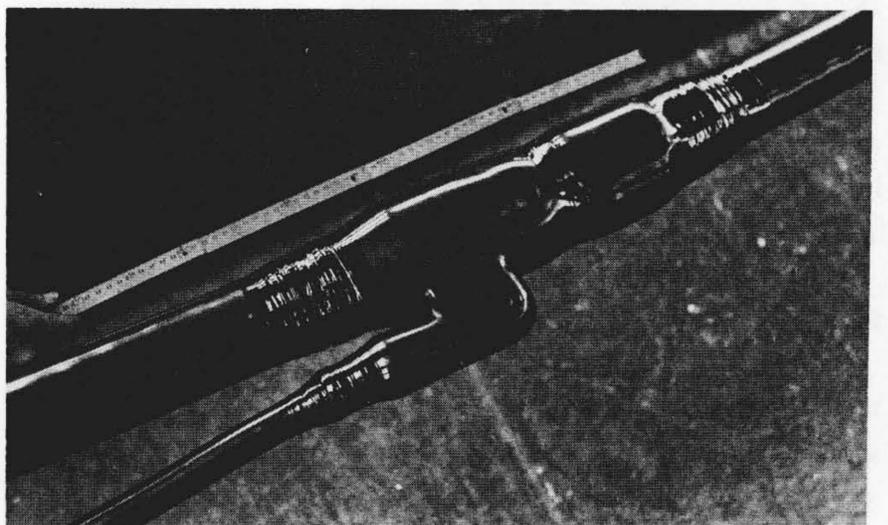


図6 プレハブ分岐の例 アルミスリーブを用いて、アルミ幹線に銅ケーブルの分岐線を取り付けた例を示す。

Fig. 6 Pre-Fabricated Tap

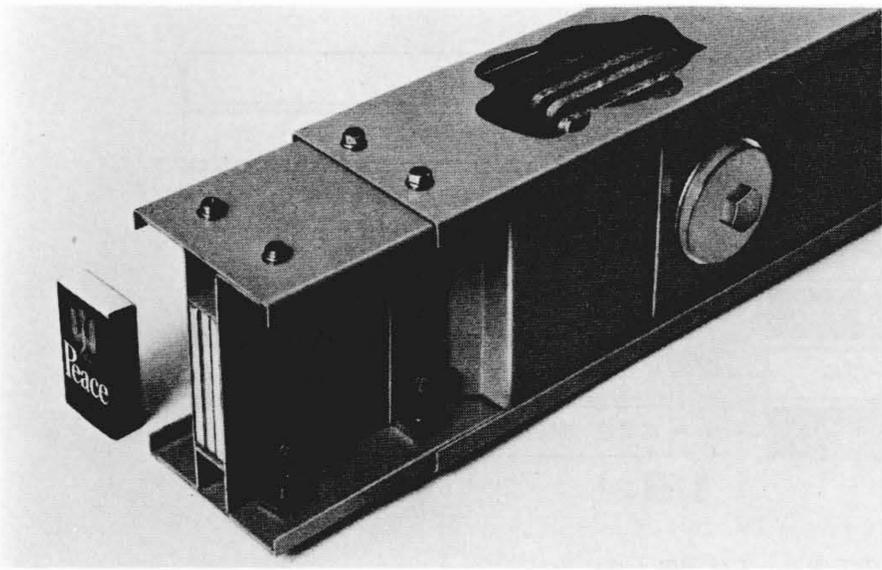


図7 絶縁形バスダクト 相間間隔の小さいのがよくわかる。

Fig. 7 Insulated Type Bus Duct

いられている。これは図7のように相間間隔が小さいため、リアクタンス分が一般の大サイズケーブルに比べて大幅に小さいという特長を持っている。しかし他方では、中継接続が多く保守点検面でも若干問題が残されている。これに代わって、取扱性がよく、かつ経済的なケーブルの開発が要望されているが、低インピーダンス幹線としては下記のものが開発され一部実用化されている。

(a) アルミ導体平形ケーブル(AI-VV-F)

このケーブルは図8(b)のようにアルミより線を並列に配したもので、3~4条密着することによって前出のバスダクト的な効果を出すことができる。その他長尺で取扱いがよく保守点検も容易であるなどの特長を持っている。また分岐は溶接工法により、工場プレハブ取付けとし現地での省力化を図っている。

24階建ビルに適用した布設状況は、図9に示すとおりである。また本ケーブルの低インピーダンス特性を確認するため、同ビルにおいて実測した結果は表3のようになり、同等サイズの一般ケーブルの俵積み布設時に比べてリアクタンスは約30%小さくなっている。

(b) 共心形ケーブル(AI-CX-VV)

各相の中心間隔を小さくするとリアクタンスは小さくなるが、これをさらに発展させ各相の中心を一致させたものがこのケーブルで構造は図8(a)に示すとおりである。インダクタンスは自己インダクタンスのみとなり、リアクタンス分は極端に減少する。したがって力率の悪い回路、あるいは高周波の回路には特に有効であるといえる。構造的に途中分岐はとりにくいため、分岐のない回路に適している。またサイズ的にもあまり大きくできないので、上限を500mm²(465A)としそれ以上の負荷には回線数を増す方式を想定している。

(3) 一般高圧垂直幹線としては、

負荷容量の増加によって3.3~6.6kV級を使用し大容量で電圧降下の少ない電力供給方式が現われてきている。

この場合、電流は比較的小さいので3心ケーブルの使用が可能となる。低圧幹線と同様に工事の省力化を目的として従来のラック布設によらないで、一点支持も可能で、支持間隔を長くできる幹線を開発し実用化した。

(a) ダブルメッセンジャ形ケーブル(CV-DM)

図10のように3心ケーブルのシース中に2条のメッセンジャを配したもので、垂直布設時に安定がよく、布設工事が簡単

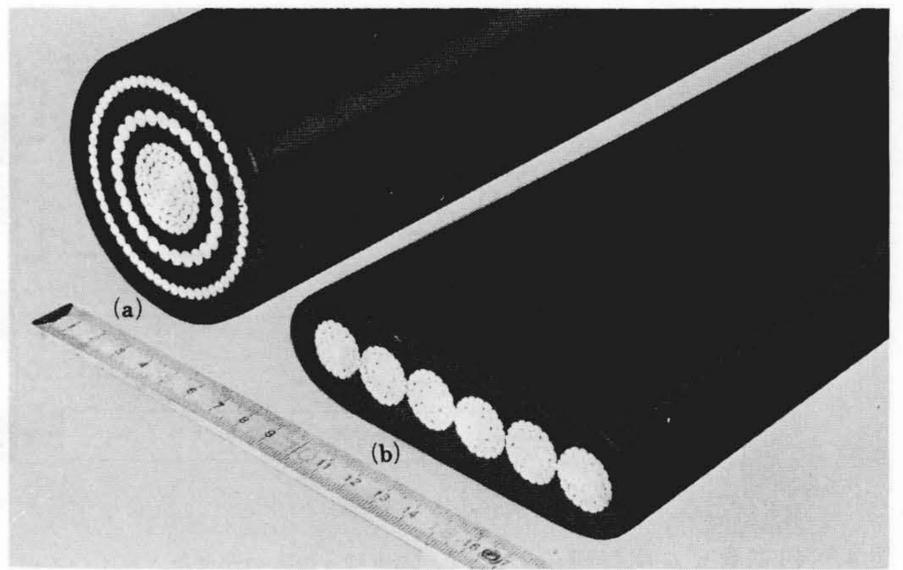


図8 低インピーダンスケーブル (a)AI-CX-VV アルミ導体の3相同心形ケーブルでリアクタンス非常に小さい。(b)AI-VV-F アルミより線を並列に配したもので、バスダクトに近い形となる。

Fig. 8 Low Impedance Type Cable

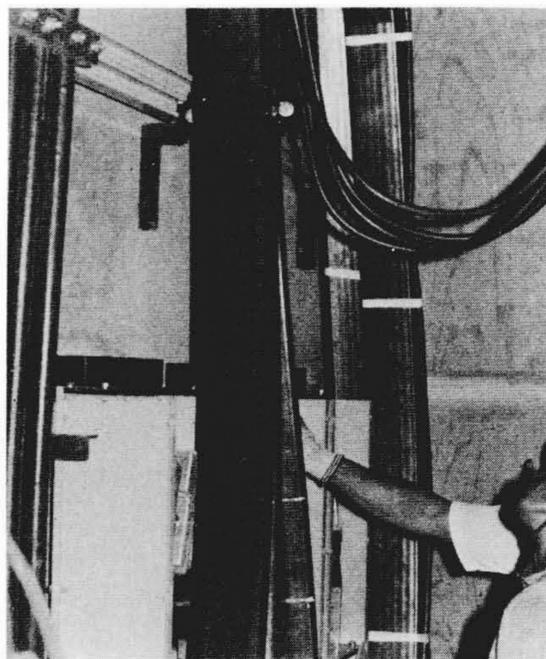


図9 アルミ導体平形ケーブルの布設状況 24階ビルでの布設例を示した。ケーブルの中間支持を行なっている所で、プレハブ分岐線が見える。

Fig. 9 Installation of Aluminum Conductor Pvc Insulated Flat Type Cables

表3 AI-VV-Fのインピーダンス実測結果 ビル内に三相3線式で垂直布設されたケーブルのインピーダンスを測定した。各相ともほぼ計算値どおりの特性を示している。

Table 3 Impedance of AI-VV-F

幹線サイズ	相別	インピーダンス (×10 ⁻⁵ Ω/m)		実効抵抗 (×10 ⁻⁵ Ω/m)		リアクタンス (×10 ⁻⁵ Ω/m)	
		実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値
1,000mm ²	A	7.30	7.08	3.11	2.95	6.59	6.44
	B	5.48	5.74	3.05		4.55	4.92
	C	6.86	7.08	〃		6.14	6.44
1,200mm ²	A	6.69	6.37	2.68	2.51	6.13	5.86
	B	5.16	5.11	2.64		4.42	4.43
	C	6.30	6.37	2.60		5.73	5.86

注：1. ケーブル長67m, 気温19°C
2. 計算値は実測時の条件にあわせて計算したものである。

である。図11はつり止め状況を示したものである。端末はメッセンジャを切り離すことにより一般のケーブルとして取り扱えるなどの特長を持っている。

(b) シングルメッセンジャ形ケーブル(TR-CV-M)

可とう性にすぐれたトリプレックス形ケーブルの中心に1条のメッセンジャワイヤを配し、一定間隔ごとにモールド固定し一体化したものである。やはり一点支持も可能であるほか、このケーブルは単心より合わせ形であるため、必要によっては途中分岐もとれる特長を持っている。

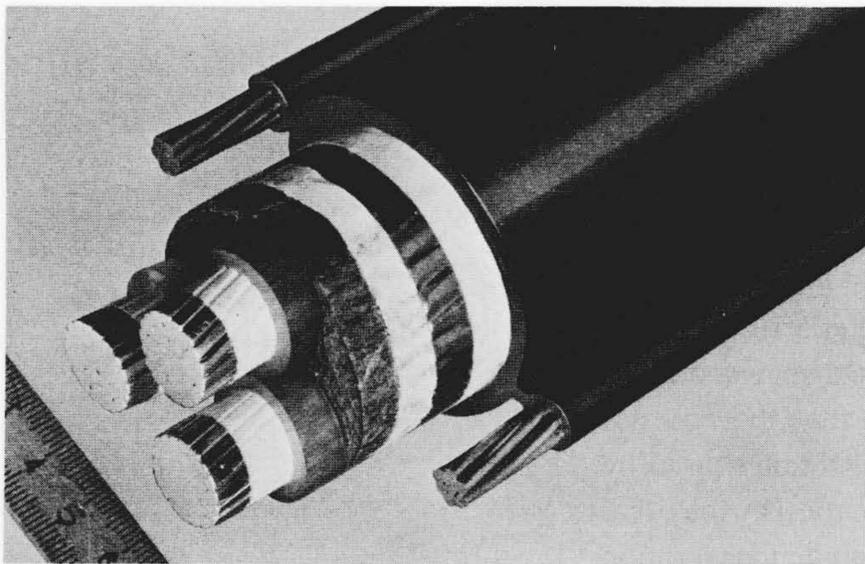


図10 ダブルメッセンジャ形ケーブル 3.3kV 3×200mm²Al-CV-DMの断面

Fig. 10 Double Messenger Type Self-Supporting Cable

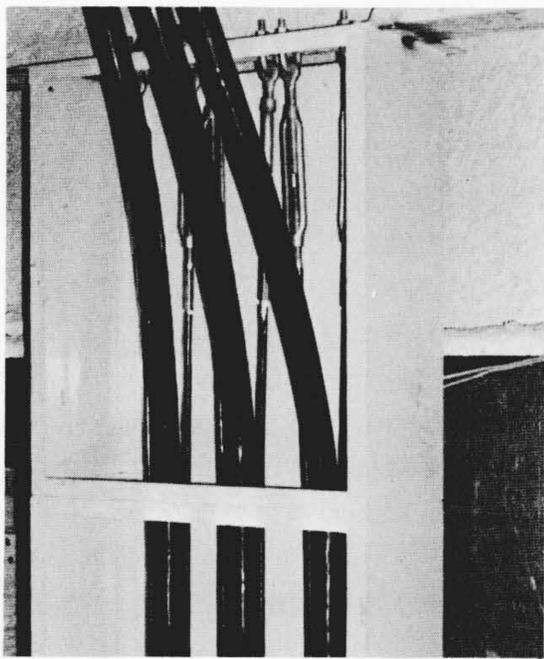


図11 自己支持形ケーブルの布設例 6.6kV 3×150mm²CV-DMの布設した所を示す。

Fig. 11 Instalation of Self-Supporting Riser Cable

5 垂直幹線の耐震性

超高層ビルでは特に耐震性が問題視されるが、垂直に布設された幹線がどのような振動特性を示すかを調査した。

5.1 ケーブルの耐震性

前出の2種の自己支持形ケーブル(CV-DM, CV-M)を33mの高さに上部一点支持の形に布設した。測定の結果は図12のようになり、振止め支持間隔4m以上では弦の振動特性とよく一致することがわかる。弦の振動の理論式を垂直布設のケーブルに適用すると張力が自重によって発生するので、最終的に(1)式で表わされる。

$$f = \frac{1}{T} = \frac{n}{2l} \sqrt{l' \times g} \quad (n = 1, 2, 3 \dots) \dots \dots (1)$$

ここで、 f : 固有振動数 (Hz)

n : 振動の次数

l : 振止め間隔

l' : 最下端から振止め間隔中心点までの高さ

g : 重力の加速度(980m/s²)

T : 周期 (s)

すなわち、固有振動数は振止め間隔と振動の次数だけの関係式となり、自重、剛性などケーブルの種類に関係なく振動特性が決定されることとなる。実験結果でも2種のケーブルは、

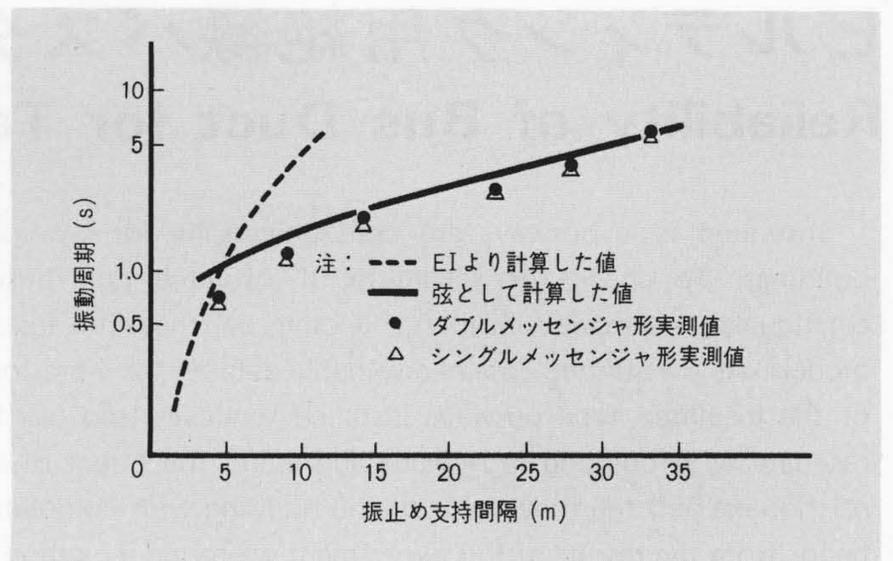


図12 自己支持形ケーブルの振動特性 布設高さ33mで振止め間隔を種々変えて周期を測定した。

Fig. 12 Oscillation Period of Self-Supporting Cables by Various Span with Cleats

同一の特性を示している。また振止め間隔の短い場合は、剛性の影響を受け今回の試料では4m以下が剛性による振動特性を示している。重さの割りに剛性の大きなもの(たとえばパイプのようなもの)では剛性による影響範囲が広がる。したがって、適当な振止め、支持間隔を選ぶことにより、いかなるビルの共振点も回避した布設方法をとることができる。

5.2 絶縁バスダクトの耐震性

実規模の垂直布設絶縁バスダクトにより各種の耐震実験を行なった結果、支持金具類を含めた全体系として機械的にも電氣的にも十分耐えうる事が確認されている(詳細については別途報告する)。

6 結 言

超高層化に伴って幹線は従来にも増して信頼性、保守管理性、工事施工性などが要求される。一方、建物も経済性、工期短縮の点から種々のプレハブ工法が取り入れられ合理化されているが、幹線もこれに対応でき、かつ経済性が要求される。幹線方式の一般的な傾向は、ほぼ図4のように方向づけられるとみられるが、一品種で万能的なものではなく、用途、目的によって選定されるべきである。一般のケーブルは大サイズ化によりリアクタンス分が増加する欠点があり、また絶縁バスダクトでは工事中の水ぬれ事故が意外に多く、これらに対する対策も今後の課題の一つといえる。

配電方式は400V級配電が主体となるとみられるが、負荷容量の増加によって3.3kV級高圧配電の併用も増加するものと予想される。

参考文献

- (1) 日本電設工業会：「超高層ビルにおける大容量電力幹線の技術基準に関する研究」(昭41-7)
- (2) 的場：「超高層ビル受電所、幹線の開発目標」OHM 700, 37(昭41-1)
- (3) 平野, 河野, 大谷：「超高層ビル用回路の耐震性の検討」昭48電気学会全国大会論文集, 1632(昭48)
- (4) 大堀, 小林, 大河内：「大容量低インピーダンスケーブルの開発」昭48電気学会全国大会論文集, 1642(昭48)
- (5) 橋本ほか：「新しい電設資材」電設工業 19, 19(昭48-2)
- (6) 菊地, 千葉：「屋内配電の近代化」電気学会誌 91, No. 3 21(昭46-3)