

論文・報告

東京ドーム「ビッグエッグ」
ケーブル架設工事

Construction of Roof Cables at TOKYO DOME "BIG EGG"

キーワード

ビッグエッグ
ケーブル架設
エアドーム
直引き工法
サスペンダー横取
り工法島 辺 政 秀*
Masahide SHIMABE子 吉 信 幸**
Nobuyuki NEYOSHI

1. まえがき

東京ドーム「ビッグエッグ」は、昭和62年6月28日早朝、梅雨空の東京の街に白く輝く大きな卵として誕生した。当日午前5時30分より開始された空気の注入は、約2時間45分という短時間で終了し、日本初の屋根付きスタジアムの形態を整えた。

本報告は、図-1の全体一般図に示す屋根を形成する材料の内、ケーブルの架設工事について述べるものである。主な工事は、図-2の平面線形図に示すような、屋根面の対角方向にそれぞれ14本ずつあるケーブルを張り渡し、続いて各々のケーブルの交点を交点用クランプにて固定し、ネット状にすることである。

本工事の難点は、ケーブル定着位置に高低差があるため対角ケーブルが架設時に干渉する問題を、ケーブルの上げ越しや強制変形を与えるなどの手段を用いていかに解決するか、またケーブルが3次元の広がりを持っていることから予測しない力が作用する可能性があることに對し、どのように精度よく安全に架設するかであった。

2. 工事概要

建 築 主：(株)後楽園スタジアム

設計・監理：KAD共同設計室

(株)日建設計・(株)竹中工務店

施 工：(株)竹中工務店

ケーブル製作：神鋼鋼線工業(株)

ケーブル架設：川田建設(株)

屋 根 面 積：31 700 m² (水平投影面積)

高 さ：最高地上高さ 56.19 m

フィールド面からの高さ 69.70 m

収 容 人 員：野球時 50 000人

催事時 56 000人

屋 根 形 成：低ライズケーブル補強空気膜構造

膜 材：四フッ化エチレン樹脂コーティングガラス繊維布

ケーブル材：構造用スパイラルロープ

80φ 1×169, A級2種

加 圧：常時内圧 30 mmAq

屋根材料の重量を表-1に、ケーブルおよび交点クランプの使用量を表-2, 3にそれぞれ示す。

表-1 屋根材料重量総括表

材 料 名 称	単 位 重 量	合 計 (%)
膜材(内膜含む)	1.85 kg/m ²	66 t (18.4)
ケーブル(80φ・1×169)	32.5 kg/m	171 t (47.8)
ボルト・金物	ケーブル長さ当たり12.7 kg/m	68 t (19.0)
クロロプレナム	ケーブル長さ当たり7.35 kg/m	39 t (10.9)
交点クランプ	70 kg/1交点	14 t (3.9)
合 計	—	358 t (12.5 kg/m ²)

表-2 ケーブル数量表

	製作延長 [m]	総 本 数 [本]	単 重 量 [kg/m]	重 量 [t]
X方向ケーブル	2 679.238	14本	3.21	86.000
Y方向ケーブル	2 665.741	14本	3.21	85.572
合 計	5 344.979	28本	—	171.572

表-3 交点クランプ数量表

TYPE	重 量 [kg/組]	数 量 [組]	TYPE別 重量[kg]	参 考 取り扱い重量
CL-1	62	152	9 424	31
CL-2	85	32	2 720	43
CL-3	108	12	1 296	54
合計	—	196	13 440	—

*川田工業(株)技術本部技術部工事計画課課長(前・川田建設(株)東京支店工事部計画一課課長)

**川田工業(株)橋梁事業部工事部工事一課係長(前・川田建設(株)東京支店工事部計画一課)

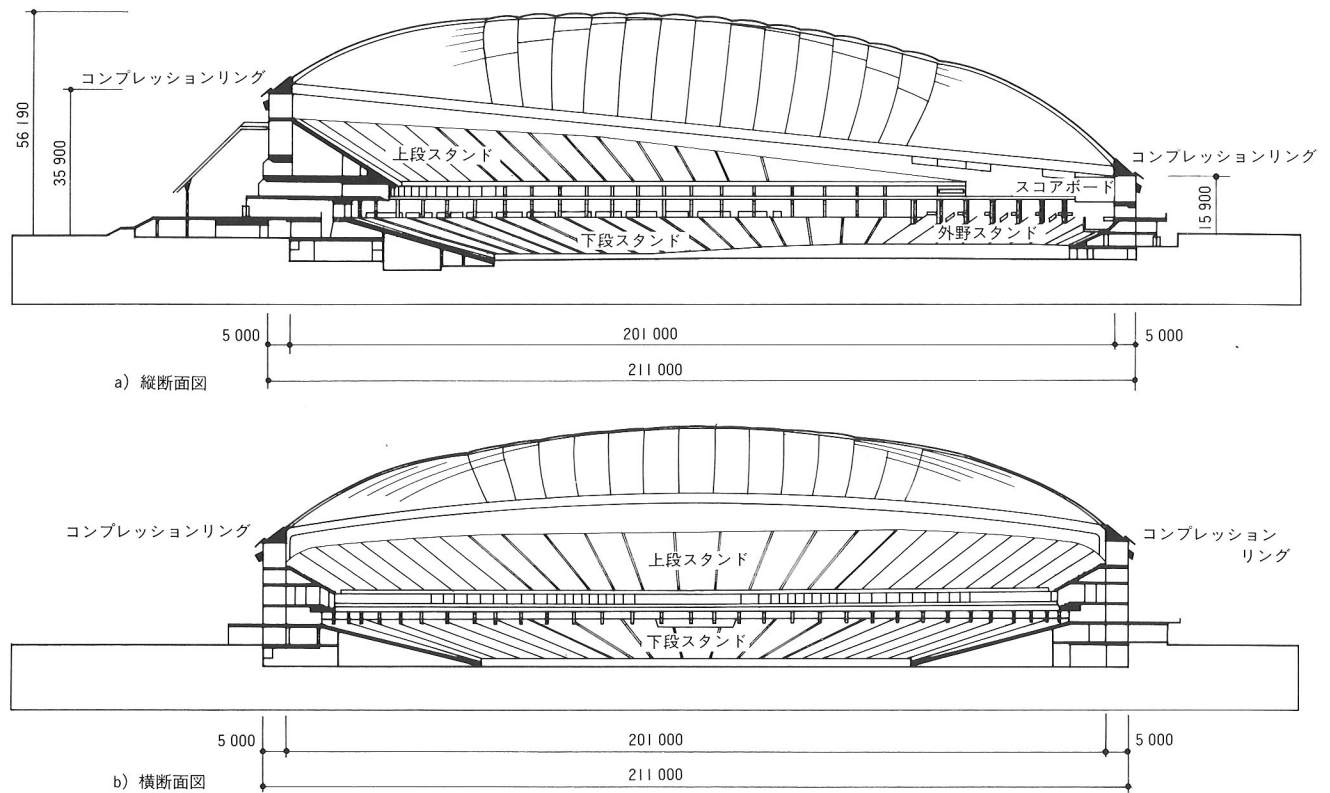


図-1 全体一般図

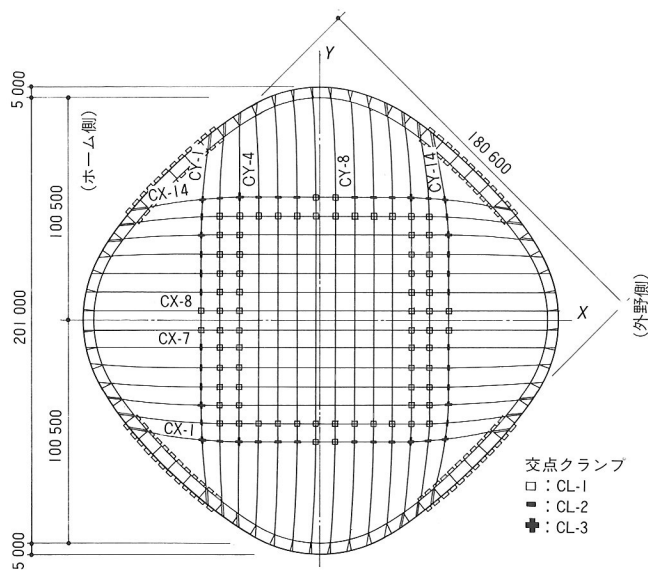


図-2 平面線形図

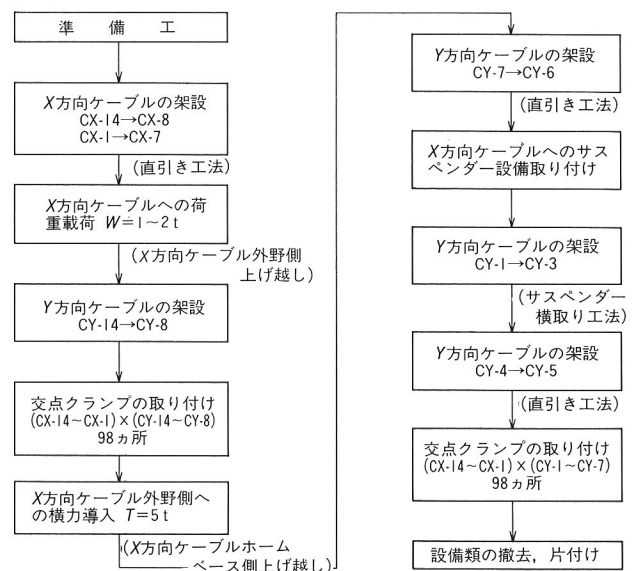


図-3 ケーブル架設順序

3. 施工概要

ケーブルの全体架設順序を図-3に示す。ケーブルの架設は、以下に示す「直引き工法」と「サスペンダー横取り工法」にて行った。

(1) 直引き工法

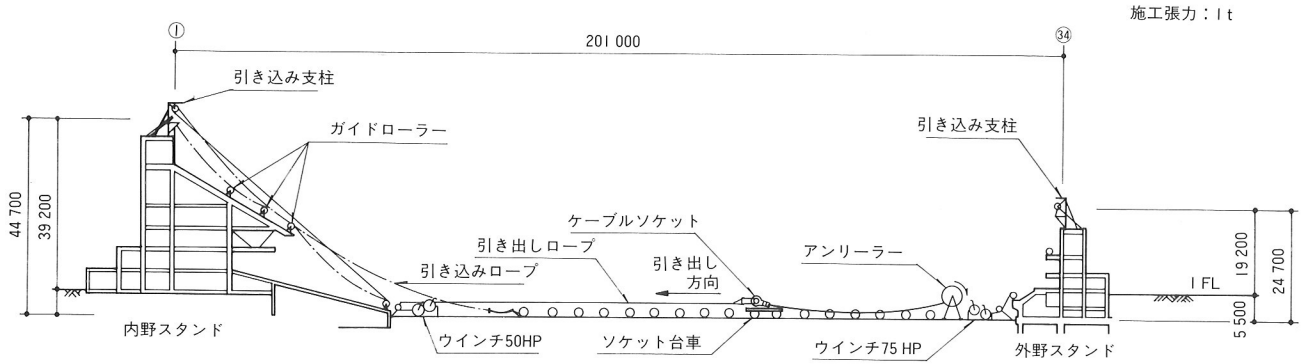
本法は、アンリーラーにケーブルドラムをトラッククレーンにてセットした後、引き出しワイヤにバックテンション(反対方向惜しみ張力)をかけながら、ウインチにてフィールド内へ引き出し、その後定着支柱部にセット

したケーブル引き込み設備を用いて定着する方法である(図-4参照)。図-2のCXケーブルおよびCY-4～14ケーブルに使用した。

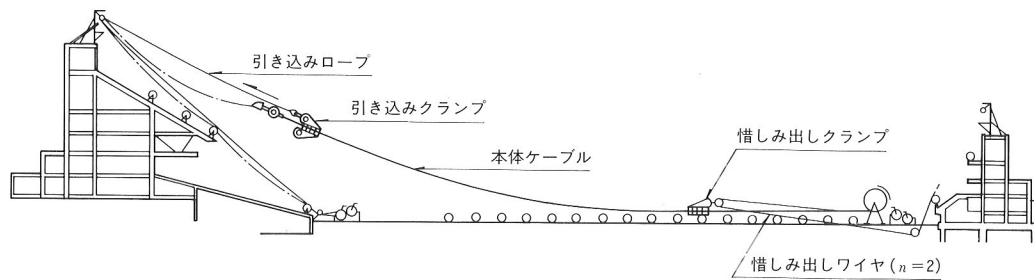
(2) サスペンダー横取り工法

ケーブルの引き出しを直引き工法と同様に行った後、横行用キャリヤに吊り下げ、定着装置まで横取りし、定着する方法である(図-5参照)。本方法は、内野スタンドの工事が既に完了し、ケーブルの展開が不可能なCY-1～3のケーブルに使用した。

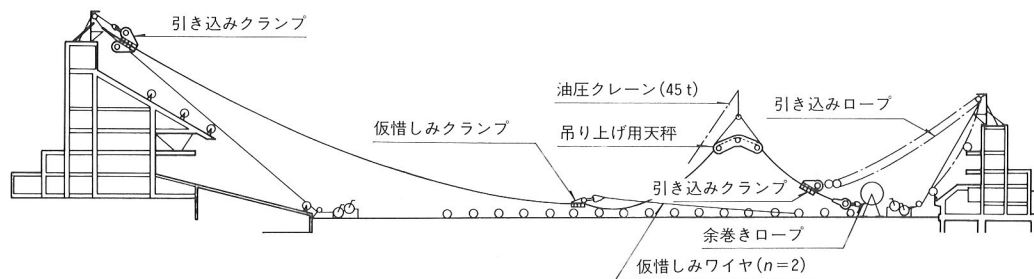
STEP 1. 仮設備工, 引き出し



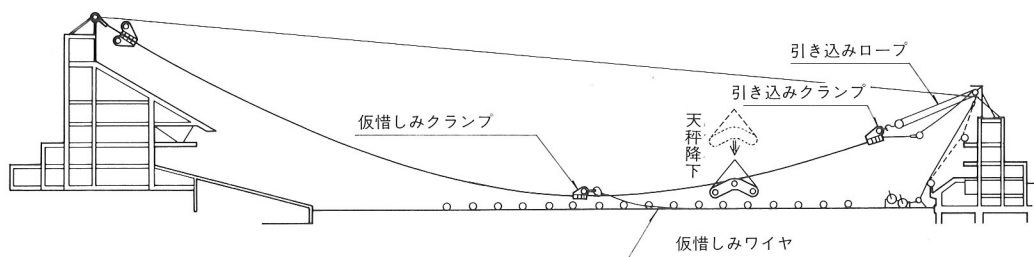
STEP 2. 惜しみ出し



STEP 3. 内野側定着, 余長抜き取り



STEP 4. 外野側引き込み=天秤降下, 惜しみ解放



STEP 5. 外野側定着

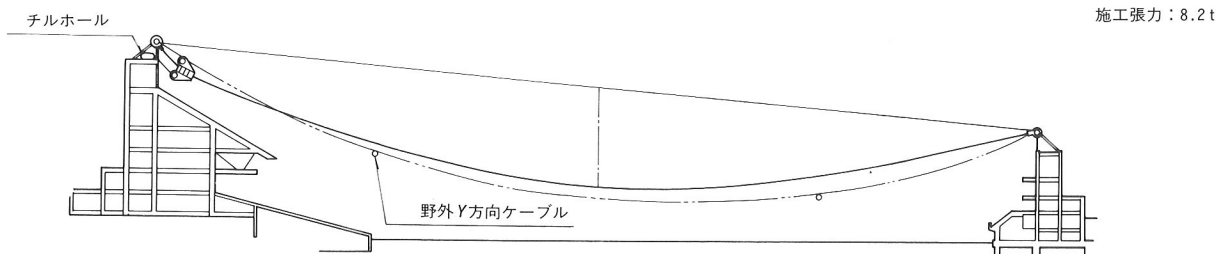
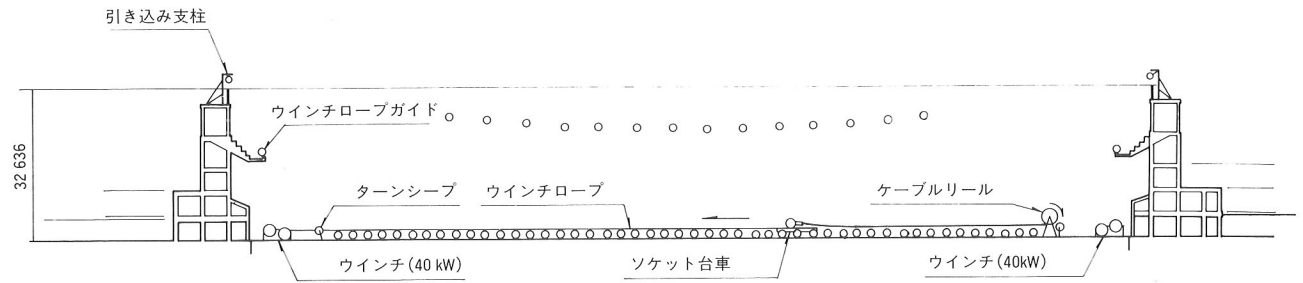


図-4 X方向ケーブル, Y方向ケーブルCY-4~14の架設工法(直引き工法)

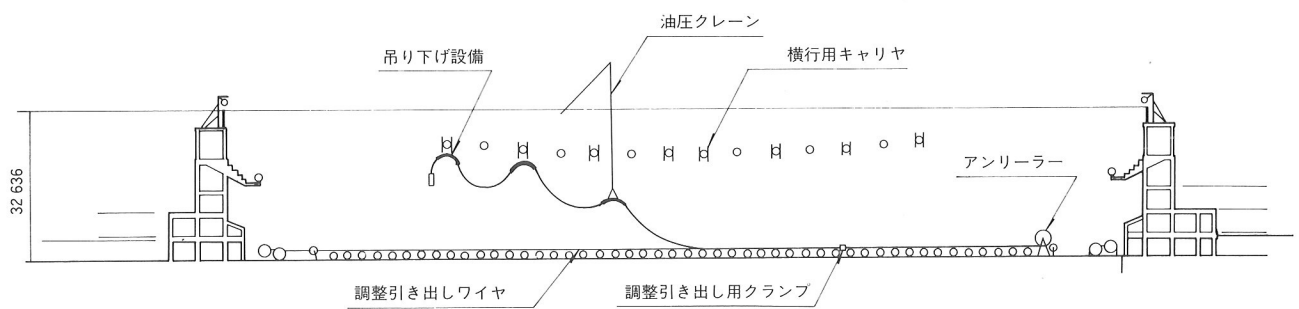
STEP 1. 仮設備工, 引き出し

引き出し張力: 1t未満

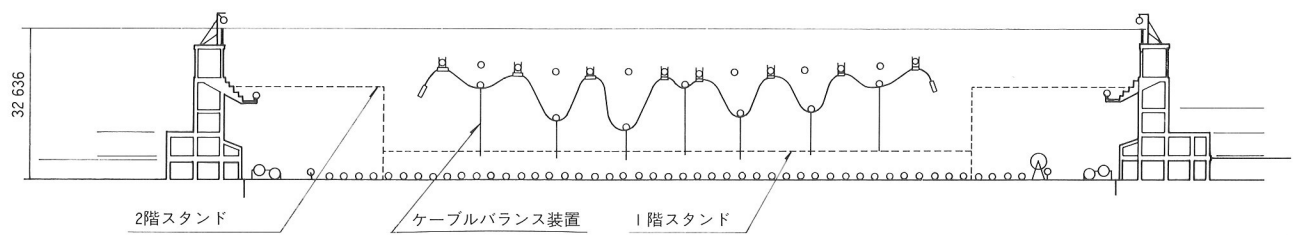


STEP 2. 横行用キャリア取り付け, ケーブルの吊り下げ

クレーン負荷: 0.5~1.0t



STEP 3. ケーブル横取り



STEP 4. 引き込み

引き込み張力: 2~7t

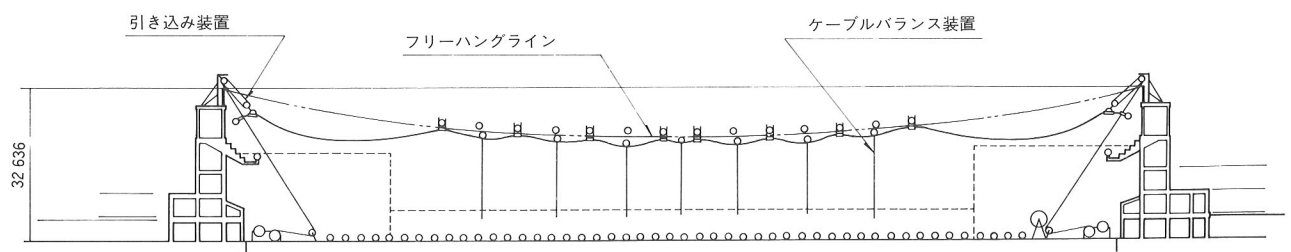


図-5 CY-1~3ケーブルの架設(サスペンダー横取り工法)

4. X方向ケーブルの架設

X方向ケーブル(CX-1~14)およびY方向ケーブルのCY-4~14は、アンリーラーの設置からケーブルの展開・引き込みまでが一直線上に実施可能なため、直引き工法にて架設を行うこととした。

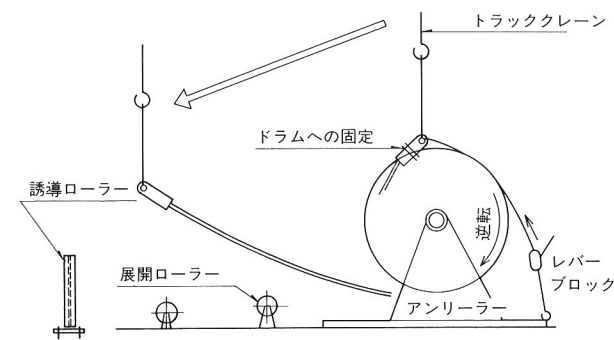
(1) ケーブルドラムのセット

搬入されたケーブルドラム(重量8~9t)は、トラッククレーン(吊り能力45t)を用いて、ケーブル展開用架台・アンリーラーに設置した。

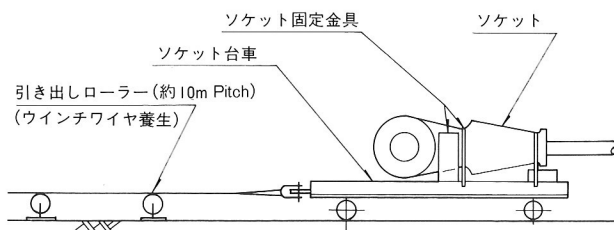
(2) ケーブルの取り出し・展開

トラッククレーンを用いてアンリーラーにセットされたケーブルの始端ソケットを取り出す時、始端ソケットのドラムへの巻き締め力の解放によりケーブル自体に反発力が発生する。このため、あらかじめレバーブロックを用いてアンリーラーを仮固定し、トラッククレーンにて始端ソケットを吊り上げると同時に、徐々にレバーブロックを緩める方法をとることとした(図-6参照)。

ケーブル誘導ローラー手前まで取り出された始端ソケットをソケット台車に乗せ、ケーブル引き出し設備によってケーブルを展開した。



a) ケーブルソケットの取り出し



b) ケーブルソケット台車

図-6 ケーブルの取り出し

(3) 引き込み装置・惜しみ装置の取り付けと引き込み

取り出し完了したケーブルに引き込み装置、惜しみ装置を取り付けた後、ウインチを用いてケーブルの引き込み作業を行った。ケーブルソケットの引き込みは、図-7に示す要領で行った。

(4) ケーブルソケットの定着

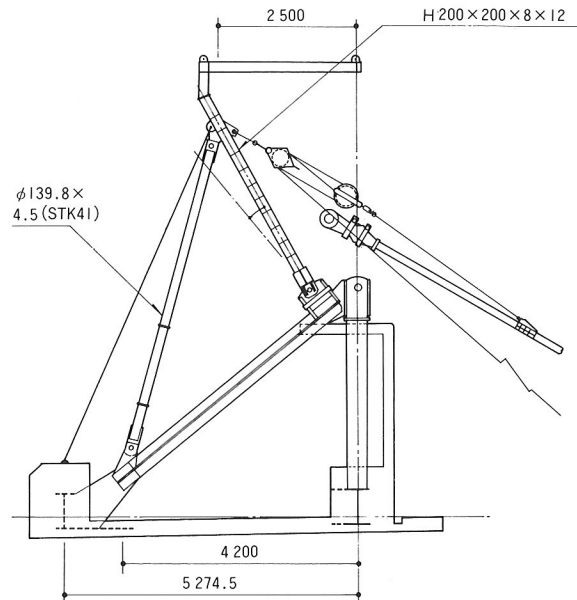


図-7 ケーブルソケット引き込み要領

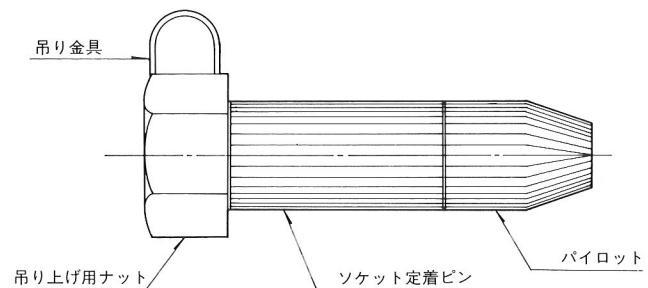


図-8 定着ピン挿入具

ケーブルソケットが定着点近傍に接近したら、ソケット定着用余長を確保して、引き込み作業を一時中止し、定着作業に入る。ケーブルソケット定着用ピンはトラッククレーンで定着作業足場まで吊り上げ、作業床に一時仮置きし、レバーブロックに吊り換え、人力で挿入を行った。図-8に示すように、定着用ピンには、あらかじめパイロットおよび吊り上げ用ナットが付けられており、挿入後これを正規のナットと交換した。

5. Y方向ケーブルの架設

Y方向ケーブル(CY-1~14)の架設は、CY-14からCY-8へ向かって架設を進めるが、架設時の自由懸垂状態では、図-9に示すようにX方向ケーブルとY方向ケーブルが干渉する。これは、X方向ケーブルの定着点間に高低差があること、膜がインフレート状態(膜が上方に膨れた状態)の時に膜球面に対してケーブルが法線方向になるようにシフトされていること、XY方向ケーブルの純間隔が30mmしかないことなどのためである。

そこで、Y方向ケーブル架設前にX方向ケーブル¼点に鉛直荷重(1~2t)を載荷し、X方向ケーブルを変形さ

せ、Y方向ケーブルを架設することとした(図-10参照)。目標とするケーブルの離隔距離はケーブルの引き込み代20 cmを見込んで30 cmとし、これに合わせて鉛直荷重を調整した。CY-14からCY-8ケーブルの架設完了後、載荷荷重の調整をしながらX方向ケーブルとY方向ケーブルの交点クランプを取り付けた。

CY-7～1ケーブルの架設に際しても、X方向ケーブルが干渉するため、X方向ケーブルの上げ越しを行い架設する方法をとった。上げ越し方法としては、CY-14ケーブル側半分のケーブルに交点クランプが既に取り付け

られているため、鉛直荷重によりケーブルを上昇させることは困難であることが1/40模型実験により確認されたため、図-11に示すように横引き込み方法にてX方向ケーブルの上げ越しを行うこととした。

また、CY-7～4ケーブルは何ら障害物がないため、X方向ケーブルなどと同じく直引き工法で架設できた。しかし、CY-3～1ケーブルでは、スタンド設備工事が完了していたため、ケーブルの直引きが不可能なことから、図-5に示したサスペンダー横取り工法にて架設を行うこととした。

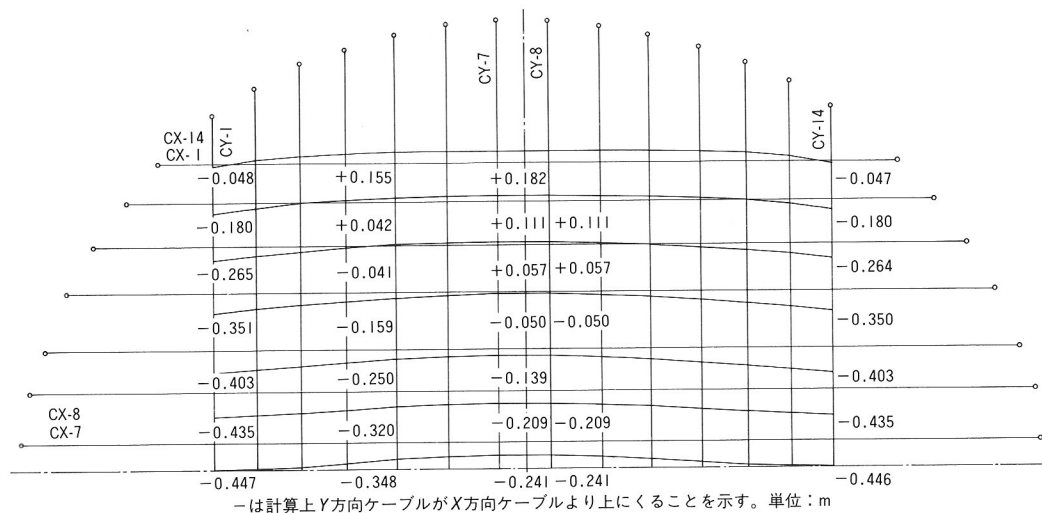


図-9 XY方向ケーブル干渉図

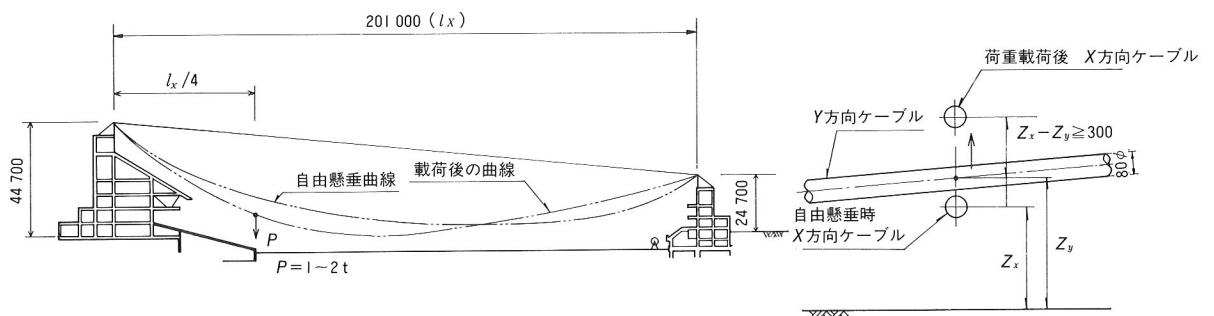


図-10 鉛直荷重載荷点

横力導入装置寸法表

ケーブル番号	L [m]	L ₁ [m]	L ₂ [m]
CX-14, 1	31 000	20 000	11 000
CX-13, 2	30 000	20 000	10 000
CX-12, 3	30 000	20 000	10 000
CX-11, 4	32 000	20 000	12 000
CX-10, 5	29 000	20 000	9 000
CX-9, 6	27 000	15 000	12 000
CX-8, 7	26 000	15 000	11 000

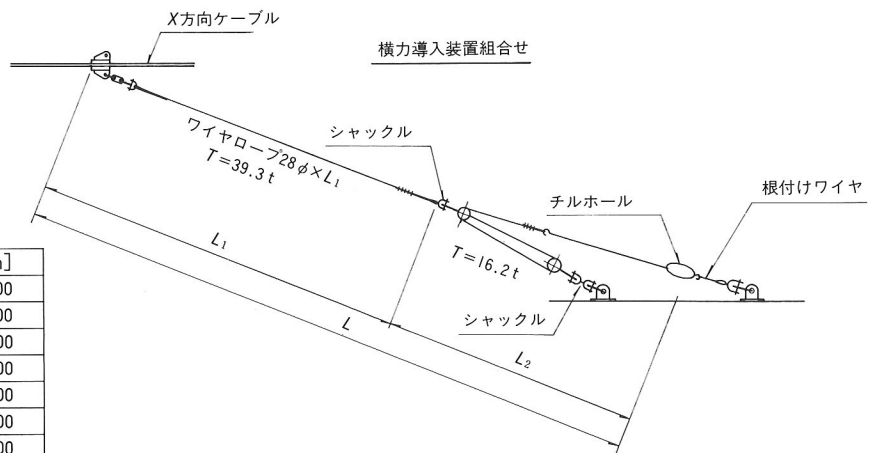


図-11 X方向ケーブル横力導入要領

6. 交点クランプの取り付け

(1) 概要

X方向ケーブル、Y方向ケーブルとも交点クランプ位置は、工場にてマーキングが施してある。交点クランプ位置は、ケーブルの自由懸垂状態とインフレート状態では平面的に大きくずれているとともに、回転変形を起こしている。よって交点クランプ取り付け時には、各ケーブル交点を3次的に外周方向へ横取りするとともに、ケーブル天地に付けられたマークに合わせて回転修正を行う必要があった(図-2,12参照)。

(2) クランプ取り付け順序

架設され自由懸垂状態のケーブルは、風などの影響により不安定状態にあるため、まずCY-8ラインの中央付近を固定し、ケーブル長の長いX方向ケーブルを固定した。次に横取り調整量の大きい外周ケーブルの四隅を仮大引きした後、微調整を行って外周角部の大型クランプを取り付けた。その後、順次中心部から外周へと小型クランプの取り付けを行った(CY-8～14の外野側半分は先行取り付け)。

(3) クランプ取り付け要領

クランプ取り付け作業は、作業位置の下面条件により使用足場を変えた。フィールド上はローリングタワー、スカイリフトを、下段スタンド上はスカイホーク、上段スタンド上は高所作業車およびビティー足場をスタンド上に組み立て作業した。クランプ架設は、大型クランプの場合はクレーンで、小型クランプの場合は人力で、載荷荷重、横力導入装置を操作しながらケーブルの横取り

調整を行い、工場マーキングに合わせ取り付けた。上、下段ケーブルの高低差のあるものは、ロング仮ボルトで寄せ締めを行ってから本締めした。

7. 施工管理

(1) ケーブル架設

ケーブル架設工法のうち、直引き工法についてはウインチ2台を使用して、ケーブルの展開とソケットの引き込みを行った。第1ソケットの引き込みおよび第2ソケット引き込み時の惜しみには複胴機械式50馬力を、第1ソケット引き込み時の惜しみおよび第2ソケットの引き込みには複胴油圧式75馬力を使用した。油圧ウインチを使用したのは引き出しワイヤの張力管理が油圧メータで行える利点があるからである(図-4参照)。

第1ソケット引き出し時は、引き出し途中にある観客スタンドにケーブルが接するのを防ぐため、惜しみウインチにて惜しみながら引き出した。惜しみ力の管理としては、10tロードセルを用い、最大管理張力3tとして管理した。管理張力3tは、ケーブルがスタンドを回避するのに必要な最小張力、衝撃、金車の抵抗、ワイヤの繰り込みを考慮して決定した。

第2ソケットの引き出しは、クレーンに、吊り天秤をセットしてドラム内の余長を抜き取った後、第1ソケットと同様に惜しみ出ししながら引き出した。第2ソケットが定着点に接近するに従ってケーブル全体が架空し、吊り天秤も解放されていくので引き出しワイヤ張力は架設に従って増加する。このため引き出しワイヤの張力管

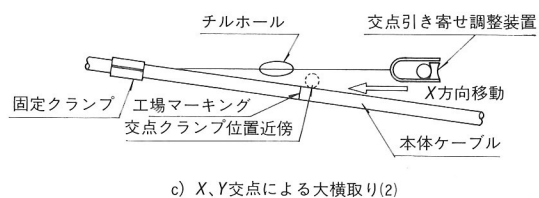
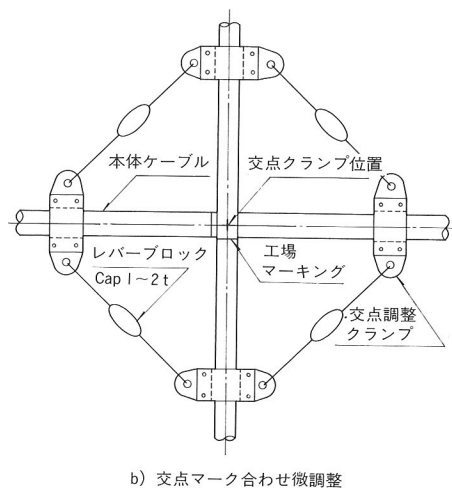
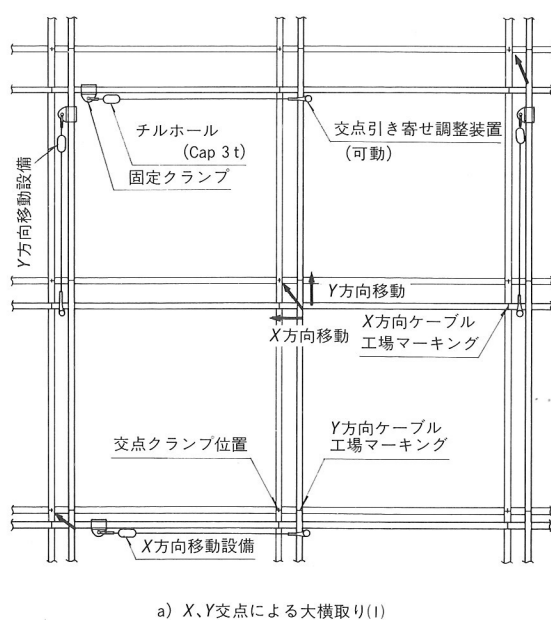


図-12 ケーブル横取り要領図

理をウインチの油圧ゲージで最大3tとして実施した(自由懸垂状態でのケーブル最大張力は約7tであり衝撃および引き出しワイヤの繰り込み数3を考慮し、管理張力3tを決定した)。

(2) 引き込み支柱

ケーブル架設において、ケーブル引き込み支柱の取り付け方向(ケーブル完成方向を向く)とケーブルの引き込み方向(自由懸垂方向)がおのおのケーブルによって異なるため引き込み支柱には横力が生じる。この横力と引き込み支柱の安定のため、支柱固定用ワイヤにプレストレスを導入した。各支柱取り付け位置によってワイヤ固定位置が異なり、導入張力も異なる。このため張力管理にはテンションロードセル(耐力4.5t)を使用し、張力導入にはチルホール3t引きを使用した。

(3) 交点クランプ

交点クランプの取り付けは、CL-3 クランプ(重量108

kg)を除いてほとんど人力で行ったが、使用する作業足場によって取り付けスピードが大きく違った。表-4 に使用作業車種別と作業能率の関係を示す。

表-4 作業車種別と作業能率

機種名	種 別	能 力	作業人員	取り付け個数
NSL 12	スカイリフト	12 m 2 m × 4 m	3 人	12 ~ 14
NSL 14	スカイリフト	14 m 2 m × 4 m	3 人	10 ~ 12
SC-300	クレーン式	30 m 1 m × 2 m	2 人	6 ~ 8
SK-240	ブーム式	24 m 0.5 m × 1 m	2 人	4 ~ 6

注) 個数は、CL-1 の取り付け数を示す。

(4) 高力ボルト締め付け

使用高力ボルトはF-8 T, M-20(亜鉛メッキ仕様)である。締め付け力管理はナット回転角法にて行ったが、ボルト長が200~300 mmあり、精度確認のため事前に同一仕様にてナット回転量と導入軸力および締め付け方法につ



写真-1 架設風景

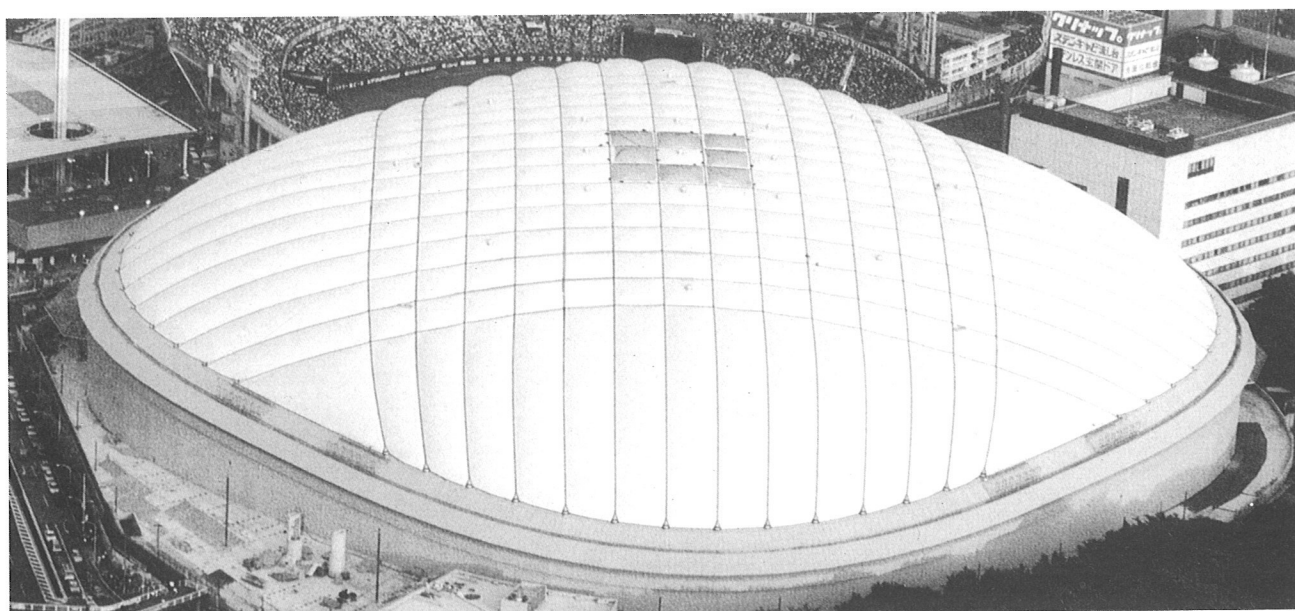


写真-2 完成風景

いて実験を行った。短ボルト($l=200$)は 240° 回転, 長ボルト($l=305$)に対しては 360° 回転, 初期導入軸力を $800\text{ kg}\cdot\text{cm}$ とした。しかし, 実作業においては, $800\text{ kg}\cdot\text{cm}$ の軸力では交点クランプの隙間管理ができず, ケーブルとクランプの隙間がなくなるくらいまで1次締付けを行った。架設風景を写真-1に, 完成風景を写真-2に示す。

8. 安全管理

本工事は今まで経験の少ない3次元の広がりを持った作業のため, 毎朝KYT(危険予知訓練)に特に力を入れ, 作業の危険性と, それに対する安全対策の周知徹底を図った。また各作業工種ごとに講習会を開催し, 各作業員に作業内容, 作業手順を徹底させた。

設備面での安全対策としては, 計算で算出不可能な荷重が作用する状況があるため, 各種アンカーの耐力に余裕を持たせ, またロードセル, 油圧ウインチを使用して作用張力を目で確認しながら行えるようにした。

また, ケーブル工事の性格上, 各作業が距離をおいて行われるため, 現場内の合図, 連絡には無線通信機とトランシーバーを併用した。

9. あとがき

日本初の大型エアドームのケーブル架設について概要を報告したが, 今後も多くなるとされる同様な構造物の工事に, 本報告が少しでも参考になれば幸いである。

最後に, 本工事を実施する機会を与えてくださった(株)竹中工務店, また工事に際して惜しみない協力をいただいた(株)神鋼鋼線の方々に厚く御礼を申しあげたい。