

東京都第二本庁舎地下躯体工事の施工

A Report on Construction Method of Substructure

青木 正和*
Masakazu Aoki

要 約

本報文は東京都新都庁舎のうち、第二本庁舎の地下躯体について述べたものである。第二本庁舎は地下3階、地上34階建、最高高さ163mの超高層建築物で、GL-23mの東京礫層を支持地盤とした直接基礎を採用している。地中梁の寸法が巾1.5mと2.0m、高さ7.2mもあり、マスコンクリートとなる地中梁コンクリートの品質管理が重要視され、当現場では温度応力によるひび割れ発生を防ぐためセメントは高炉セメントB種、鉄筋の継手にはネジテッコン、スラブ型枠にはオムニア板とスパンクリートなどの採用を行った。その結果、省力化と併せて工期の短縮、品質及び施工精度など期待通りの成果が得られた。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. 地中梁躯体の施工手順
- §4. 地中梁コンクリートの調合計画
- §5. 地中梁コンクリートの打設
- §6. 地中梁の温度応力の予測と測定結果
- §7. おわりに

mの東京礫層を支持地盤としている。なお、敷地内の常水位は約GL-11mである。

基礎部分は耐圧盤の厚さが高層部分は1,500mm、一般部分で600mm、地中梁の成は7,200mm、上部スラブ厚が250mmで鉄骨は地中梁上端から立上っている。

基礎部分はマスコンクリートに該当するため、現場の品質管理が重要視されるほか、型枠工、鉄筋工、圧接工などの慢性的職人不足にどう対応していくかが大きな課題であった。

§1. はじめに

新都庁舎は東京の自治の拠点であるとともに、発展を続ける国際都市東京の文化を表象する建物として第一本庁舎、第二本庁舎、議会棟の三棟で構成され、非常時の際には1,200万都民の防災対策の指令塔となる機能も備えている。

当建物は新宿超高層ビル群の一角にあり、第二本庁舎は地下3階、地上34階建、最高高さ163mの超高層建築物である。建物には杭は無く、基礎は直接基礎としGL-23

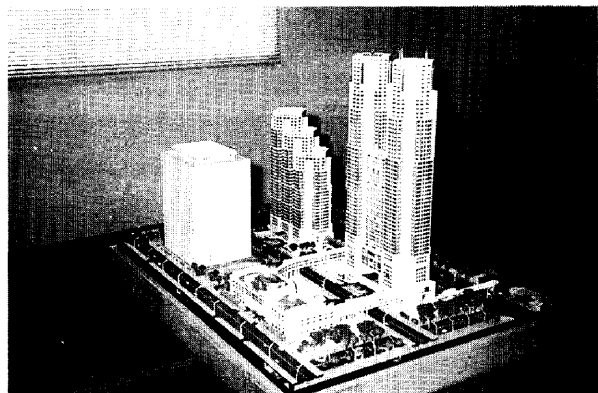


Photo 1 新都庁舎全景

*東京建築(支)東京都第二本庁舎(出)主任

以下に当現場における地下躯体工事の施工について述べる。

§ 2. 工事概要

工事名称	東京都第二本庁舎建設工事
工事場所	東京都新宿区西新宿二丁目9番
設計監理	丹下健三・都市・建築設計研究所
敷地面積	約14,030m ²
建築面積	約9,800m ²
延床面積	約141,000m ²
高さ	163m
階数	地上34階 地下3階
構造	2階以上S造 1階以下SRC造 直接基礎
仕上概要	外部 花崗岩打込み PCパネル 内部 床 タイルカーペット 壁 スチールパネル焼付塗装 天井 岩綿吸音板
施工	鹿島・大林・西松・住友・巴組・石原・白石・新・京王・工新建設共同企業体 (設備) 別途

§ 3. 地中梁躯体の施工手順

3-1 概要

地中梁は部材の断面が大きいことから、マスコンクリートとして考える必要がある。そこで設計仕様の普通ポルトランドセメントに替えて水和熱の小さい高炉セメントB種を採用し、スランプを15cmとした。

コンクリートの打設回数は耐圧盤で2回、地中梁で2回、スラブで1回と合計5回に分けた。

コンクリートの調合計画は、温度応力と温度履歴の予測から適切な調合を決定した。

鉄筋についてはD32などの太物が多く使用されていたため、腕の良い圧接工の確保のむずかしさ、全数超音波探傷などの条件を考慮し、鉄筋の継手は技能工でなくても施工ができて、天候にも左右されず、目視で検査できるネジテッコンとした。また従来は手組みで行われてきたスターラップと腹筋の組立は、メッシュ加工して鉄筋の乱れ防止と精度の確保、工程の遵守をねらった。しかし構台下については搬入が困難なため、耐圧盤から上のスターラップは手組みで行うようにした。

鉄骨のアンカーボルト設置については、据付精度を±3mm以下にしたいため、地下3階のアンカーボルトはシ

ース管を使用する型抜工法で、1階はSAP工法で行うようにした。

型枠については原則的に在来工法としたが、スラブについてはオムニア板とスパンクリートを採用し、強度上オムニア板では施工できないところにスパンクリートを使用した。防水が必要なピットに使用するオムニア板は、現場に搬入後、エポキシ防水等で防水処理を行ってから据付けた。

以下に耐圧盤の配筋からアンカーボルトの設置、地下3階の床コンクリート打設まで順を追って報告する。

3-2 施工手順

(1) メッシュ筋の施工手順

メッシュ筋の施工手順をFig. 1に示す。

(2) アンカーボルトの設置手順

型抜工法

アンカーボルトの詳細図と設置治具をFig. 2に、型抜工法設置手順をFig. 3に示す。

SAP工法

概略図をFig. 4に、SAP工法設置手順をFig. 5に示す。

(3) 地中梁の施工手順

①モルタルを詰めたパイプをスペーサーとして捨コン上に全面的に組む。

②耐圧盤の配筋を行った後、1段目のメッシュ筋の中に地中梁の下端筋を組む。

③1段目のコンクリートを打設した後2段目のメッシュ筋を組み、耐圧盤の上筋を組む。

④2段目のコンクリート打設後に足場を組む。岡組みした柱筋をクレーンにて吊下げ、足場上に設けた墨(テープ)に合せて固定する。柱筋の下端部はあらかじめ取付けたアングルの中に入れて位置を確保する。

柱筋の岡組みはFBに穴あけをした枠を上端部にはめ込み、主筋の位置の固定をした後スパイラルフープを使用して組立て、その後アンカーボルト用シース管を仮付けする。

⑤3段目のメッシュ筋を足場のパイプ又は主筋に吊り下げて固定する。(吊り下げることによって通りが良くなる)

⑥柱筋とシース管を足場上に設けた墨(テープ)に合せて溶接にて固定する。

⑦3段目のコンクリートを打設後、型枠をせり上げPC小梁を取付ける。3段目の主筋を配筋して4段目のコンクリートを打設する。

⑧オムニア板を架台に立て掛けた状態で防水処理を行う。オムニア板とスパンクリートを敷き込む。

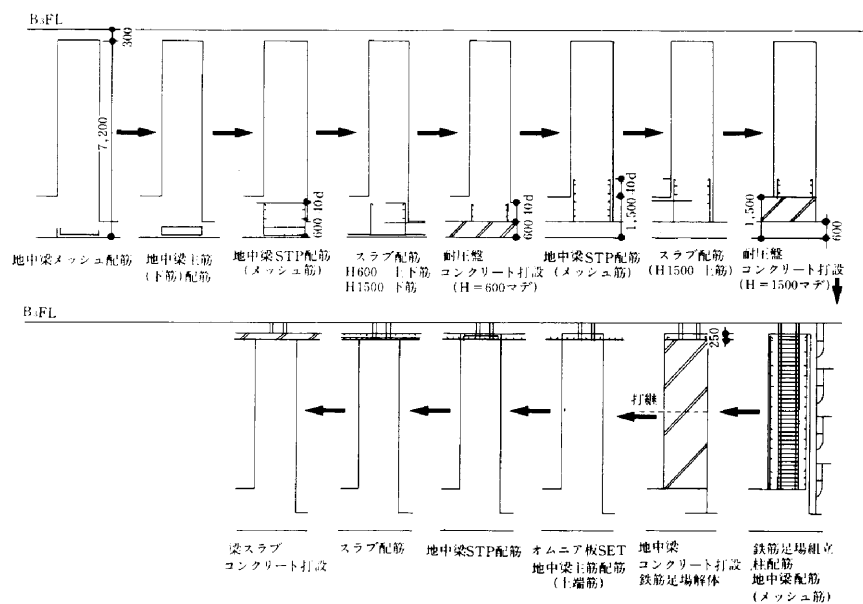


Fig.1 メッシュ筋の施工手順

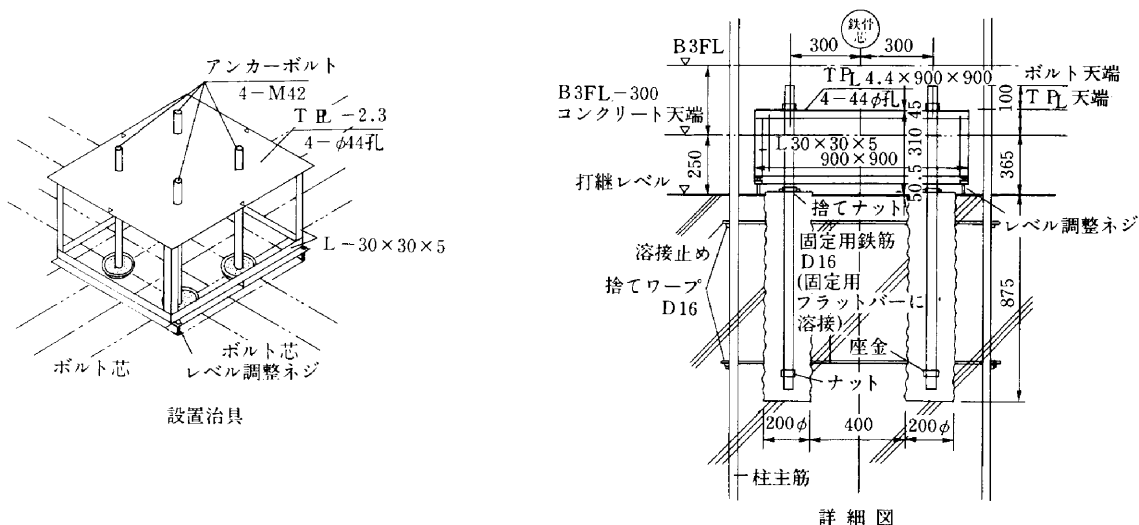


Fig.2 アンカーボルトの設置治具と施工仕様

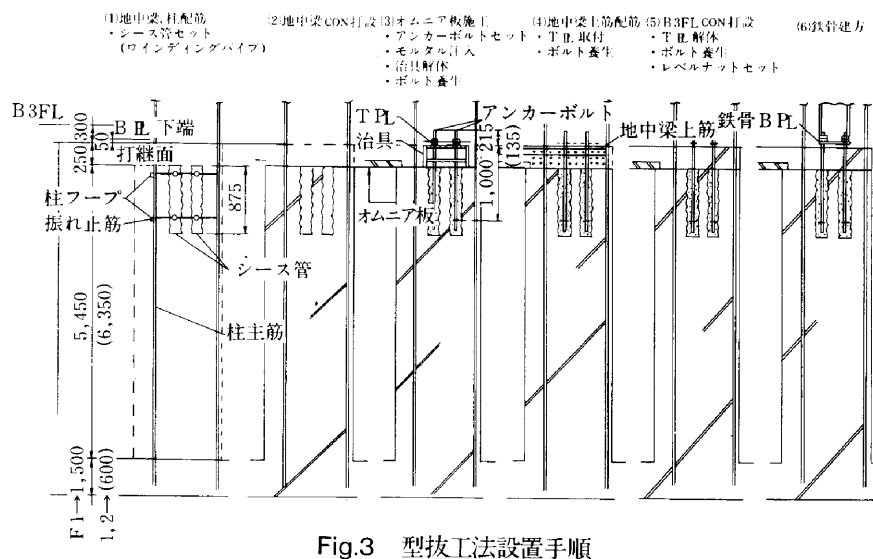


Fig.3 型抜工法設置手順

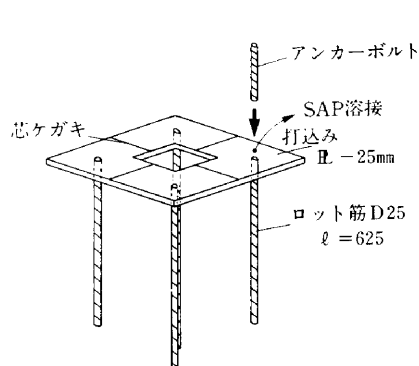


Fig.4 SAP工法設置治具

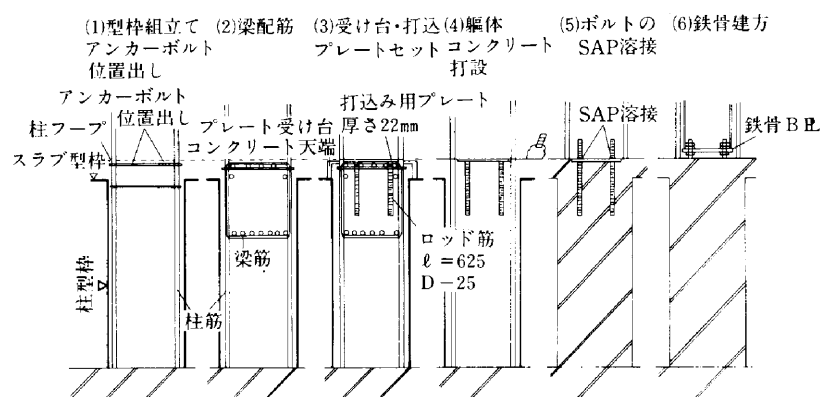


Fig.5 SAP工法設置手順

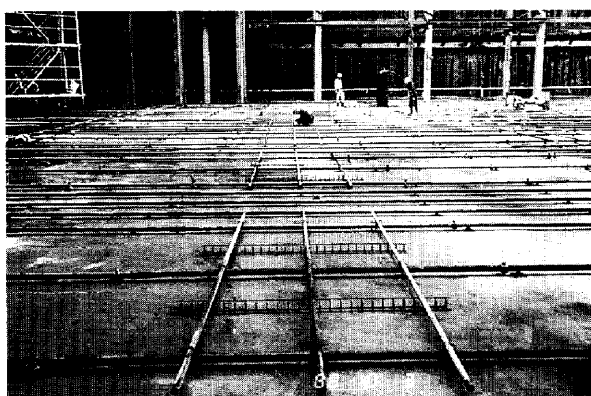


Photo 2 スペース用パイプ組みの状況



Photo 4 耐圧盤上筋と2段目のメッシュ筋の状況

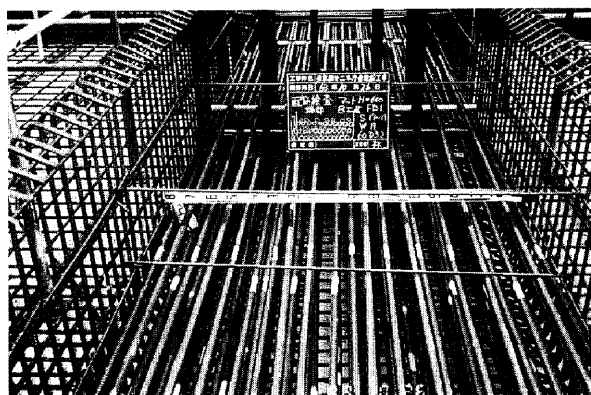


Photo 3 メッシュ筋と下端筋の状況

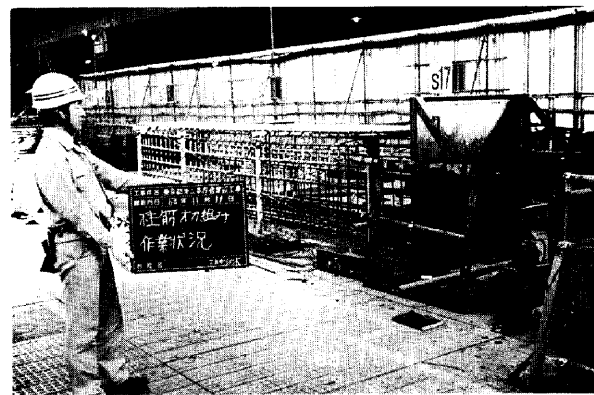


Photo 5 柱筋の岡組み状況

⑨シース管の蓋を取りアンカーボルト設置治具をセットし、テンプレートにアンカーボルトを固定させる。捨ナットに鉄筋を溶接して固定する。シース管内にグラウト材を注入し、硬化後に、アンカーボルト設置治具を解体する。

⑩アンカーボルトにグリースを塗り養生をする。ネジ

テッコンでジョイントしながら主筋を配筋する。

⑪スラブ配筋後5回目(スラブ)のコンクリートを打設する。墨出し後アンカーボルトのズレを実測する。

(4) SAP工法の施工手順

① SAPアンカーのプレート搬入、ロット筋のSAP溶接の目視検査を行う。

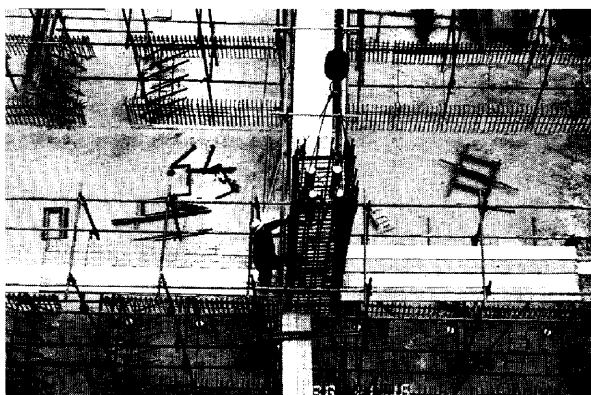


Photo 6 柱筋の吊下げ状況

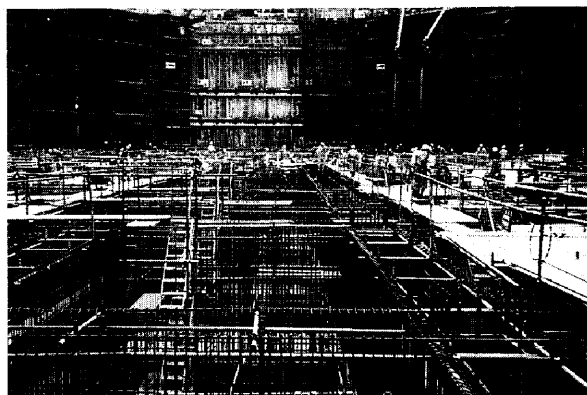


Photo 9 メッシュ筋の全景



Photo 7 柱筋下端部の状況

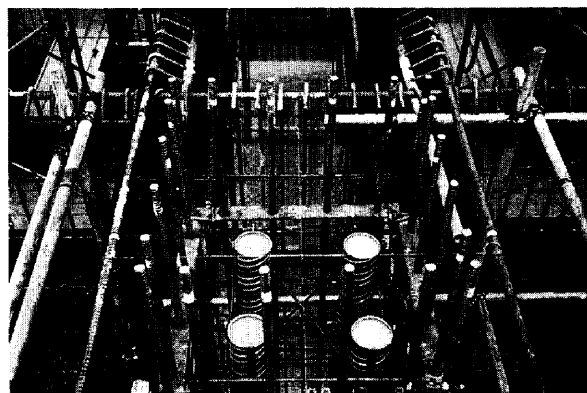


Photo 10 柱筋とシース管の状況

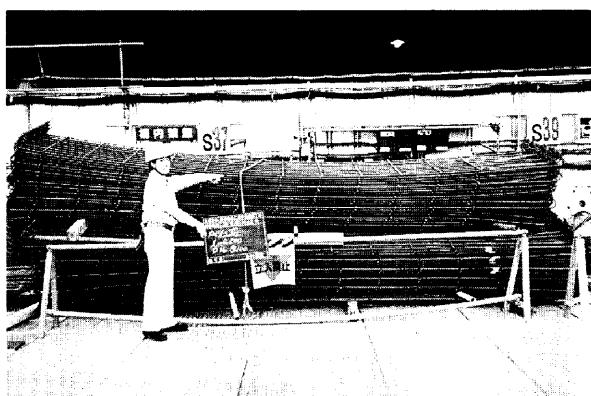


Photo 8 3段目のメッシュ筋

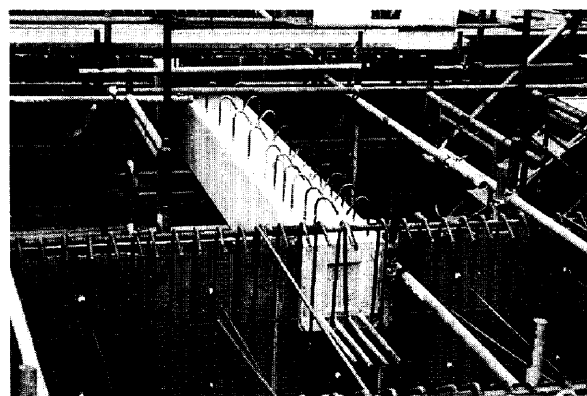


Photo 11 PC小梁取付状況

②地中梁配筋後プレートをセットし、コンクリートを打設する。

③施工場所の近くで溶接試験を行い、溶接部の目視検査と曲げ試験を行う。

④墨に合せてボルトをSAP溶接する。

⑤溶接後の目視検査を行い、ズレをチェックシートに記入

3-3 考察

当初ネジテッコンは鉄筋工で施工する予定であったが

予測したように鉄筋工の集まりが悪く、土工の中から数名を選んで講習を行い、ジョイントとグラウトの作業を行わせた。その結果、施工している本人が目視で完了を確認できることから圧接に比べて施工能率は非常に良く、ネジテッコンに変更して良好な結果が得られた。

地中梁に採用したメッシュ筋は主筋の通りが良く、かぶりも確保ができて品質的に満足のいくものであった。

アンカーボルトの誤差は3mm以内に納まり、鉄骨の建方もスムーズに行えた。

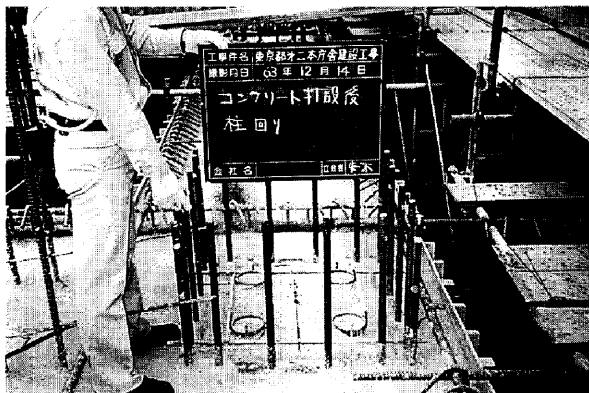


Photo 12 コンクリート打設後の柱まわりの状況

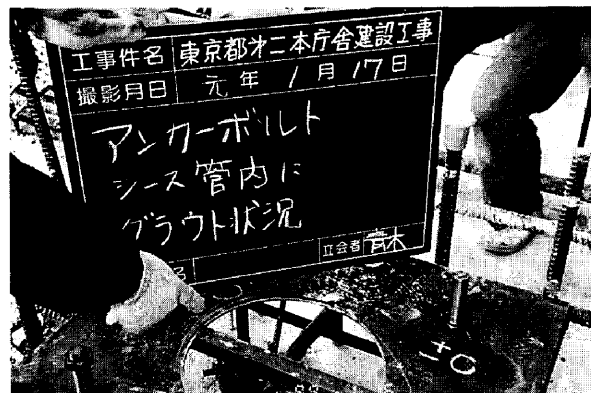


Photo 15 捨ナットによるボルト固定とグラウト材の注入状況

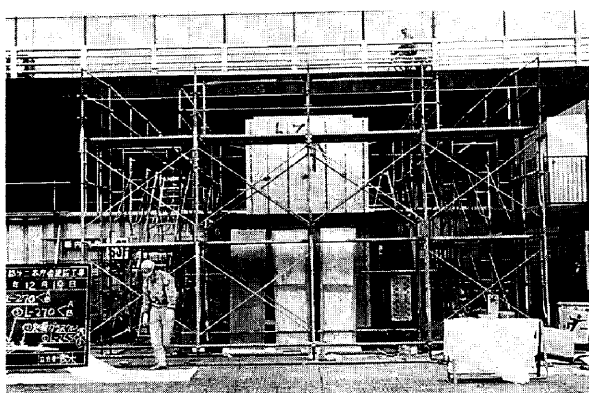


Photo 13 オムニア板の防水施工

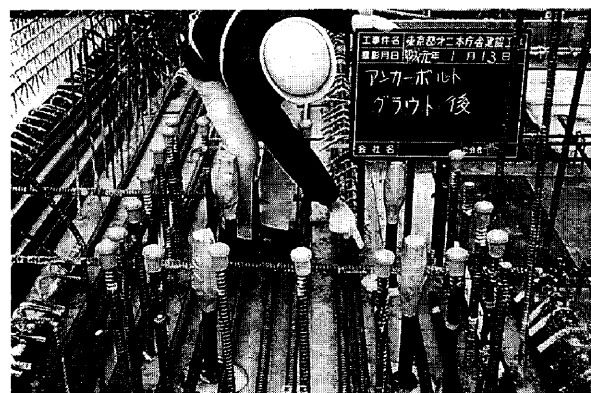


Photo 16 グラウト後の状況

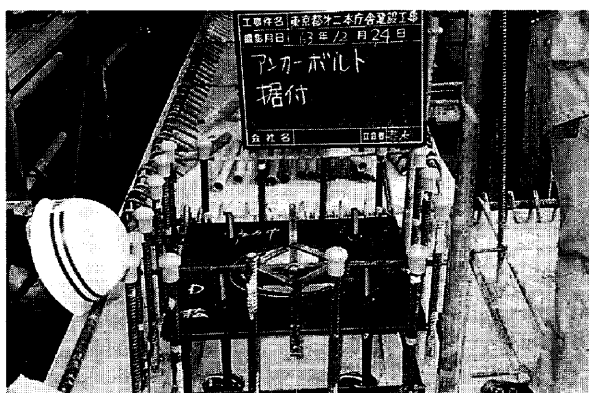


Photo 14 アンカーボルト据付状況

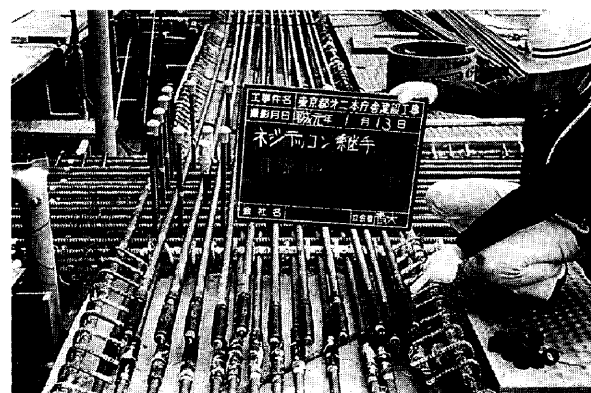


Photo 17 ネジテッコン継手

オムニア板、スパンクリート、PC小梁を使用した施工方法は現場内の清掃に効果があったが、プレハブ化が取り入れられる現在の状況では、製作工場を相当前から確保しておかなければ現場の工程に乗せることが困難になってきており、あらかじめ設計段階での工法の検討も大切なものと感じられた。

§4. 地中梁コンクリートの調合計画

4-1 概要

当建物は地中梁の寸法が高さ7.2m、巾1.5mと2.0mで、耐圧盤の厚さも高層部分で1.5mもあるため、JASS 5のマスコンクリートの規定により温度応力によるクラックを防止するための調合計画を行った。

JASS 5によれば、調合計画としては水と熱の小さい

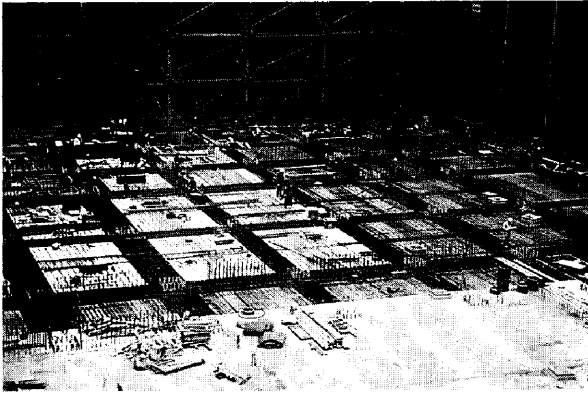


Photo 18 スラブの全景

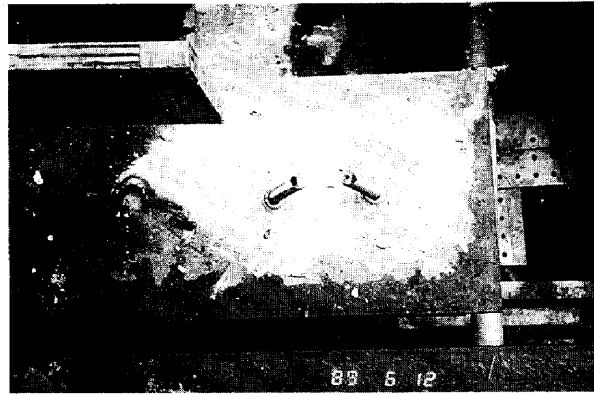


Photo 21 溶接部の曲げ試験

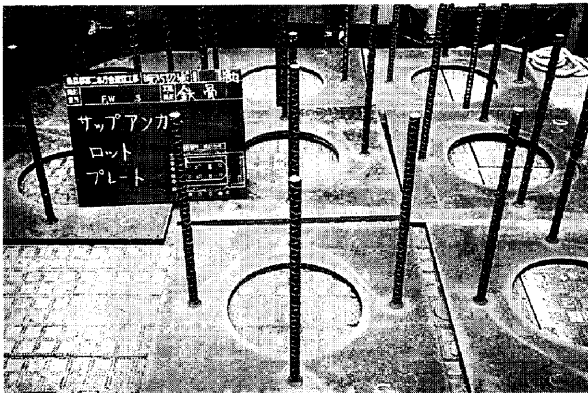


Photo 19 SAPアンカーのプレートとロット

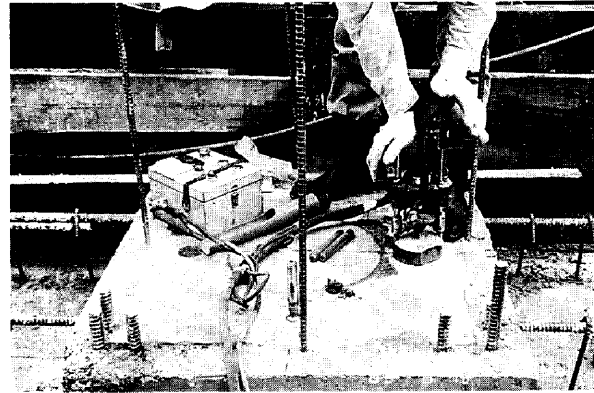


Photo 22 SAP溶接施工中

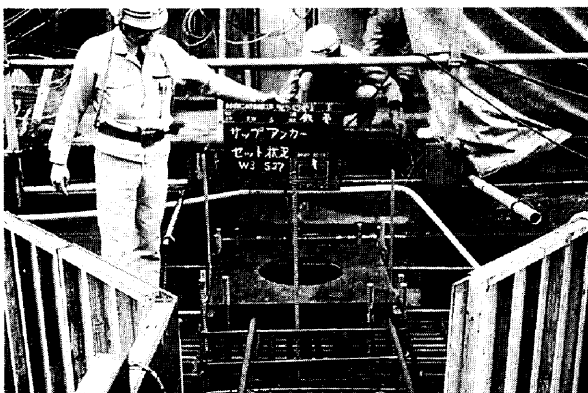


Photo 20 SAPアンカーセット状況

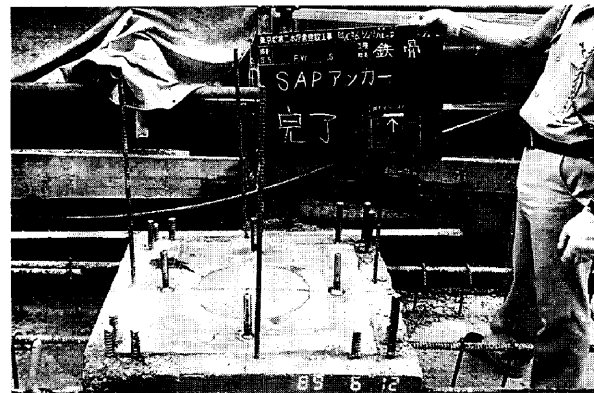


Photo 23 SAPアンカー完了状況

セメントを使用したり、単位セメント量をできるだけ少なくすることが良いとされている。使用セメントとしてはフライアッシュセメント、中庸熱ポルトランドセメント、高炉セメントを用いるのが良く、単位セメント量を少なくするためにスランプを15cm以下にしたり、流動化コンクリートを適用したり、また、設計基準強度を得るための材令を28日より延ばして調合を定めるようにすれば水和熱の小さな材料を用いた特性が有効に生かせる

ようになるという。

コンクリートの温度上昇を少なくするために水和熱の小さい高炉セメントやフライアッシュなどの混和材を用いると一般に強度の発現は遅くなるが、強度的に長期の伸びが期待できるようになる。

これらのことから当現場では使用セメントは管理のしやすい、プラントの状況等を考慮して高炉セメント B 種を使用することにした。温度補正は行わず56日管理とし

たが、これは強度の伸びを期待したもので、補正値が大きくなりすぎると単位セメント量が増大して水和熱が高くなり、マスコンクリートとしては好ましくなくなるためである。プラントから現場までの運搬時間が1時間を越すことも考えられるので流動化コンクリートも調合計画の中に加えたが、どの仕様のものを使うかは各種条件を考慮して決めるものとした。

なお地下3階のオムニア板使用のスラブコンクリートは、打設後すぐにスラブ上にて作業を行う必要があり、強度の発現が急がれるため普通ポルトランドセメントを使用し、管理材令は28日とした。

4-2 調合計画

調合計画を Table 1 に示す。

4-3 使用コンクリートの品質管理

コンクリートの品質管理概要を Table 2 に示す。

(1) 空気量

空気量の許容量は特記では4%±1%となっていたが、空気量が3～6%の範囲にあれば、ほとんどコンクリート強度には影響を与えないと判断し、当現場の計画書では下記の事項も考慮して空気量は3～6%と規定した。

- ①各プラント共実績が少なく、ばらつきが心配された。
- ② JASS 5によれば、空気量は調合を定める場合に目標とする値、あるいはレデーミクストコンクリートの

品質として指定する値（荷卸し地点での空気量の指定値）の意味であり、実際の測定値がこの範囲に入らなければならないという意味ではない、という記述がある（2節コンクリートの種類および品質 P119）

③ JASS5N「原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」の4節調合の4. 4所要空気量の項でコンクリートの所要空気量は3～6%の範囲とし、という記述がある。（P66）

(2) 管理基準、養生方法等について

Table 1 調合計画

1. セメント	高炉セメント B 種
2. 設計基準強度に達する材令	56日
3. 温度補正	0 kg/cm ³
4. スランプの基準	15cm, 18cm・
5. 流動化剤	状況により使用
6. A E 減水剤	標準形
7. 調合強度の定め方	$F_{56} \geq F_c + T + 1.73\sigma$ ——① (①, ②のうち大なる値) $F_{56} \geq 0.8(F_c + T) + 3\sigma$ ——②
8. 構造体コンクリートの供試体の養生方法	標準水中養生
9. 水セメント比の最大値	60%
10. 単位セメント量の最小値の目標	270kg/m ³
11. 単位水量	185kg/m ³ 以下
12. コンクリートに含まれる塩化物量	0.30kg/m ³ 以下
13. 使用骨材の最大寸法	20mm

Table 2 使用コンクリートの品質管理

検 査 項 目		管 理 基 準		検 査 時 期 ・ 回 数	
1	ワーカビリティ	目視によりワーカビリティがよいこと品質が均一で安定していることを確認する。		1	打込み当初及び打設中
2	ス ラ ン プ	指定スランプ	許 容 量	1	圧縮強度及び構造体コンクリートの強度検査用テストピース採取時
		イ. 12, 15, 18cm ロ. 18を超える	±2.5cm ±1.5	2	打設中品質変化が認められた時
3	空 気 量	指定空気量	許 容 量	同 上	
		4 %	3 ~ 6 %		
4	圧 縮 強 度	イ. 28日強度 ロ. 56日強度	70%以上 100%	1	任意の運搬車より28日用3個, 56日用3個採取
				2	150m ³ に1回採取
5	単 位 水 量	イ. 185kg/m ³ 以下 ロ. 調合表及び製造管理記録		1	打込み前
				2	品質変化がみられた時
6	塩 化 物 量	イ. 0.30kg/m ³ 以下 ロ. カンタブを用いる。		1日1回, 工場毎	
7	コンクリート温度	イ. 35℃ 以下 ロ. 荷卸し地点		圧縮強度と同じ	

①管理基準

- 材令28日の強度が設計基準の0.7倍以上
- 材令56日の強度が設計基準強度以上
- せき板とりはずし可能なコンクリート強度は50 kgf/cm²以上

②管理方法

- 5 台目位の運搬車から採取を開始し、それ以前に試験を行ったものは参考とする。
- 150m³を超え、300m³に満たない場合のコンクリートについては、150m³を超える端数についても試験を行う。
- 28日で設計基準強度が確認された場合は56日の強度試験は行わない。
- 養生方法は圧縮強度試験用試料（28日用、56日用）は標準水中養生とし、せき板解体用は現場水中養生とする。
- 試験機関は財東京建築防災センターとし、採取は財建材試験センターとする。

§ 5. 地中梁コンクリートの打設

5-1 概要

地中梁コンクリートは9プラントから納入し、合計33,000m³打設した。また、強度試験は247回行った。ここに225回分を報告する。スランプ、空気量の測定は3倍の675回分を報告する。

圧縮強度については設計基準強度の240kgf/cm²を下まわるものは1つも無く、28日で100%クリアした。強度の発現状況は試験練り時と同じ傾向を示した。参考として試験練り時の強度発現グラフを載せる。

なお、スランプと空気量はばらつきが大きかった。

5-2 各プラントの調合計画

9プラントから納入したが、主なプラントの調合計画を Table 3 に示す。

5-3 強度

強度発現と最高最低のばらつきはほぼ試験練りと同じ結果を示した。（Fig. 7 参照）

28日強度のばらつきは各プラントとも同じような傾向であったので、9プラントをまとめてヒストグラムで Fig. 7 に示す。

5-4 スランプ

スランプは15cm±2.5cmが許容量であったが12.0cm以下のものが6回(0.9%)、18cm以上のものが25回(3.7%)あった。

以下に100回以上スランプ試験をした A, B, C の3プラントと、全体をまとめたものをヒストグラムに示す。（Fig. 8）

5-5 空気量

空気量は許容値の3～6%の範囲にほとんどが入っていたが、5.1～6.5%の範囲のものが50回測定され全体の7.4%に達した。どのプラントも同様な傾向なので全体としてヒストグラムを作成し、Fig. 9 に示す。

5-6 考察

当初セメント量は240kg/m³前後を検討したが、耐久性

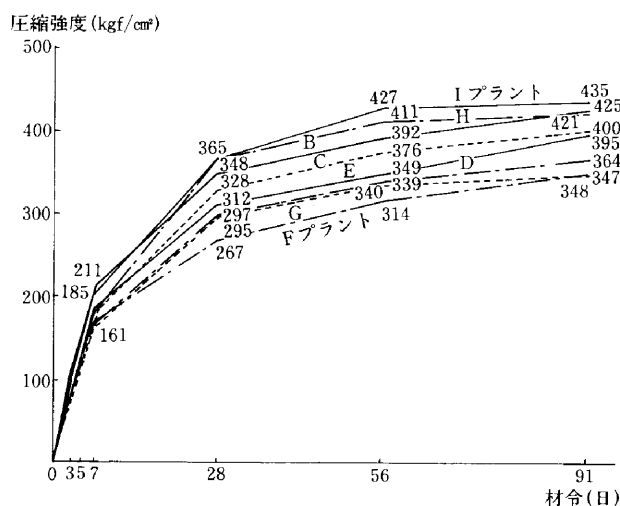


Fig.6 試験練り(耐圧盤・地中梁)

Table 3 主なプラントの調合表一覧表

		調合強度 (kgf/cm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	重 量 (kg/m ³)		
									セメント	細骨材	粗骨材
1	Aプラント	240	15	4.0	60	20	46.2	166	277	842	998
2	Bプラント	240	15	4.0	58.5	20	45.4	160	274	837	1,048
3	Cプラント	240	15	4.0	60	20	45.5	166	277	825	1,034

を考慮するという事で特記の最小セメント量 $270\text{kg}/\text{m}^3$ を守るようにした。結果的には試験練りのデータ通り7日強度で $180\text{kg}/\text{cm}^2$ 前後、28日強度で $260\sim 380\text{kg}/\text{cm}^2$ 、56日強度で $350\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の強度の発現がみられたので途中から56日の供試体の採取を取り止めた。その理由は標準養生となっているため、ヒストグラムを作って

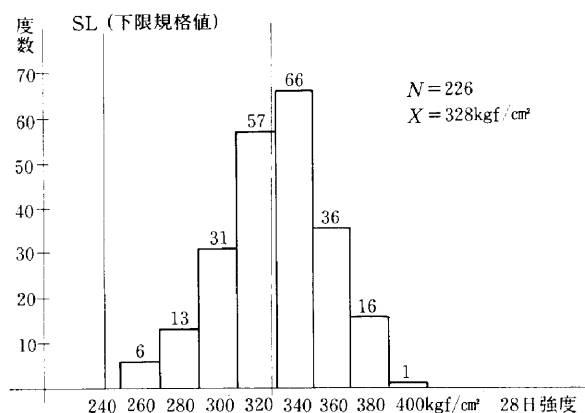


Fig.7 28日強度のヒストグラム

いく中でどのプラントも $330\text{kg}/\text{cm}^2$ を中心にしてきれいな山形になっていくことがわかったからである。後述する温度測定の結果を考慮すると（外気温が平均 10°C 位でも地中梁の中心温度は 40°C 以上になっており、外側に近いところでも 20°C に近づくのに7日以上要していること等）、供試体より実際の躯体の方が強度の発現が大きいと思われるのでもう少しセメント量を減らし、平均 $300\text{kg}/\text{cm}^2$ のコンクリートになるように調合計画をしても充分28日で強度の管理はできると判断した。（Fig. 7 参照）

しかしスランプと空気量は、きれいな山形にならずに許容範囲の中でかなりばらついており、スランプが 17.5cm のところと空気量が 5.0% のところとで絶壁形になり、充分な管理がなされていないことがわかる。これは各プラントとも高炉セメント B種を使ったコンクリート納入実績が少ないことが原因と思われる。その他セメント、砂、AE減水剤等のいろいろな要因が考えられ、メーカー、プラントなど検討したが、はっきりしたことはわからず今後課題を残した。

スランプの小さいものについては、打設可能であれば

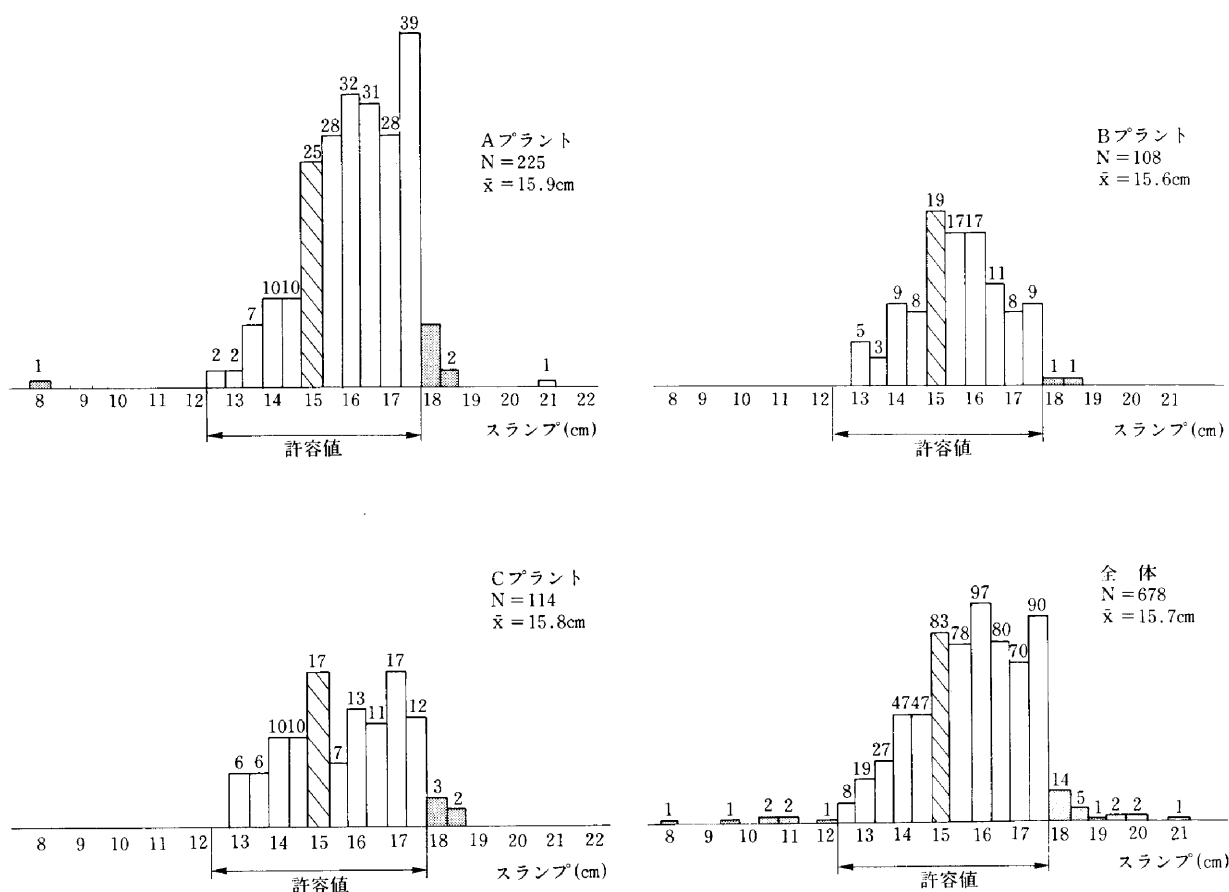


Fig.8 スランプのヒストグラム

打設し、20cmを越えているものについては返品とした。

空気量については許容量を越えていても打設した。空気量は生コン車によってばらついており、2台の生コン車を混ぜあわせれば多少改善されるであろうということと、実績によりこの程度の空気量では強度に影響は少ないと判断したためである。

いずれにしる作業性が良く止水効果もあり、長期の強度発現が期待できる高炉セメント B 種は、今後ますます採用されることと思われる。

§ 6. 地中梁の温度応力の予測と測定結果

6-1 概要

地中梁に関しコンクリートの水和熱に起因する温度応力によるひび割れ発生状況と温度履歴を予測した。予測結果では各リフトの中央部で最高温度が発生し、最高温度は47.3℃となり、ひび割れ指数0.92でひび割れが生じる可能性があるということであったが、結果は最高48℃であり、温度応力によるひび割れは見られなかった。

6-2 解析結果

(注) ○温度ひび割れ指数 = $\frac{\text{引張温度}}{\text{温度応力}}$

○ひび割れ指数が大きい程ひび割れが生じにくい。

○ひび割れ指数が1.0の時ひび割れの生じる確率は50%である。

6-3 解析結果と測定結果の比較

解析結果と測定結果の比較を Table 5 に示す。

6-4 コンクリートの温度履歴

コンクリートの温度履歴を Fig.12 に示す。

6-5 考察

地中梁の最高温度は外気温が平均10℃位のとき48℃になり、予測最高温度とは近い値となった。しかし躯体にはほとんどクラックも見られず、調合計画と打設計画は良好な成果をあげることができた。当初の仕様通り普通のポルトランドセメントを使用していた場合には温度補正が加わり、セメントが増えて内部温度も相当上がりクラックもかなり発生したと思われる。強度の発現は温度履歴に比例するので、供試体を現場水中養生又は封かん養生する場合にはコンクリート打設の場所により近い雰囲気にしておかないと、実際の構造体とかけはなれ

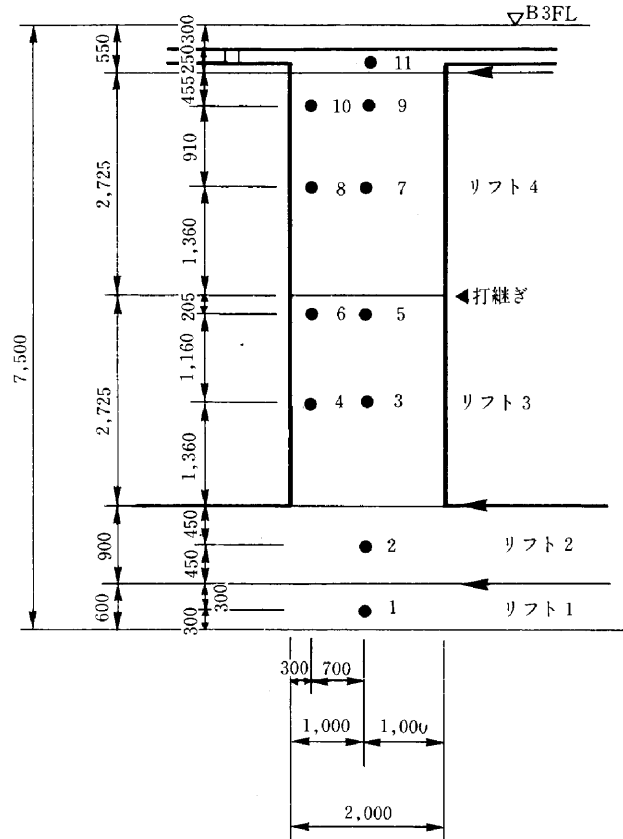


Fig.10 地中梁断面と測定点

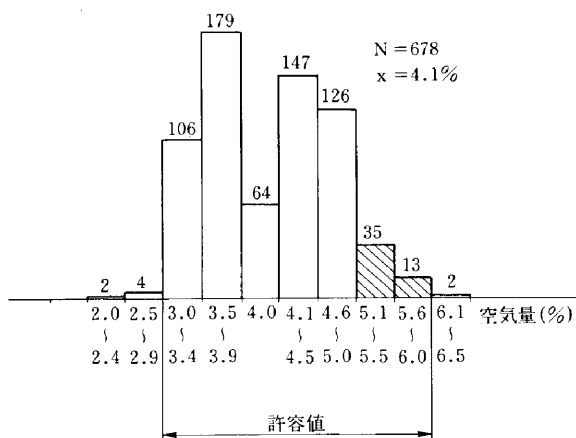


Fig.9 空気量のヒストグラム

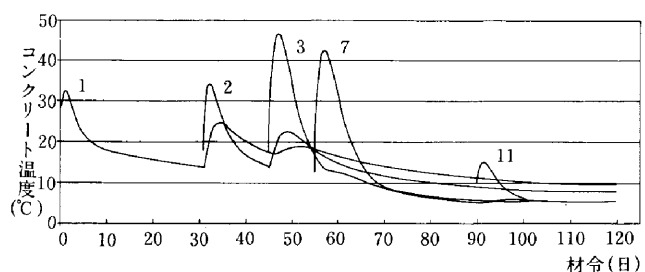


Fig.11 温度履歴予測

Table 4 解析結果

リフト	最高温度時		最終安定温度(5℃)時					外部拘束度	温度応力 (kgf/cm ²)	温度 ひびわれ 指数
	材令 (日)	温度 (℃)	材令 (日)	有効材令 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	有効弾性係数 ($\times 10^5$ kgf/cm ²)			
3	2.6	47.3	56	41	288	24	1.65	0.37	26.1	0.92
4	3.3	42.5	46	33	280	23	1.67	0.26	16.1	1.43

Table 5 解析結果と計測結果の比較

	項 目	部 位		解 析	計 測
1	単位セメント量(kg/m³) (高炉セメント B種)	地 中 梁		284kg/m³	292kg/m³
		ス ラ ブ		270kg/m³	313kg/m³
2	打込み温度(℃)	耐圧盤・地中梁		20.0℃	20.0℃
		ス ラ ブ		10.0℃	13.0℃
3	最 高 温 度(℃)	地中梁	7	42.5℃	41.3℃
			3	47.3℃	48.0℃
		耐圧盤	2	33.0℃	37.7℃
			1	32.0℃	30.8℃
4	圧 縮 強 度(kgf/cm²)	地中梁	下 段	288kgf/cm²	(28H) 354kgf/cm²
5	引 張 強 度(kgf/cm²)			24kgf/cm²	30kgf/cm²
6	有効弾性係数(kgf/cm²)			1.67×10.5kgf/cm²	1.86×10.5
7	外部拘束度			0.37	0.37
8	温 度 応 力(kgf/cm²)			26.1kgf/cm²	26.2kgf/cm²
9	温度ひびわれ指数			0.92	1.15

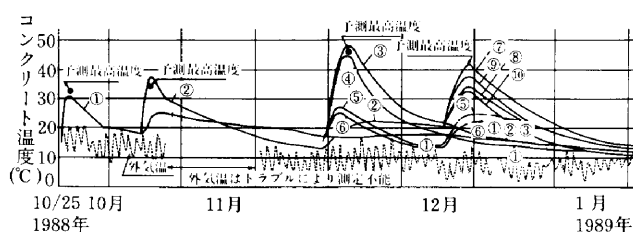


Fig.12 コンクリートの温度履歴

たものになってしまうので注意しなければならない。

参考として厚さ350mm, 高さ1,500mmの壁の温度履歴を2月21日から測定した結果を Fig.13 に示す。

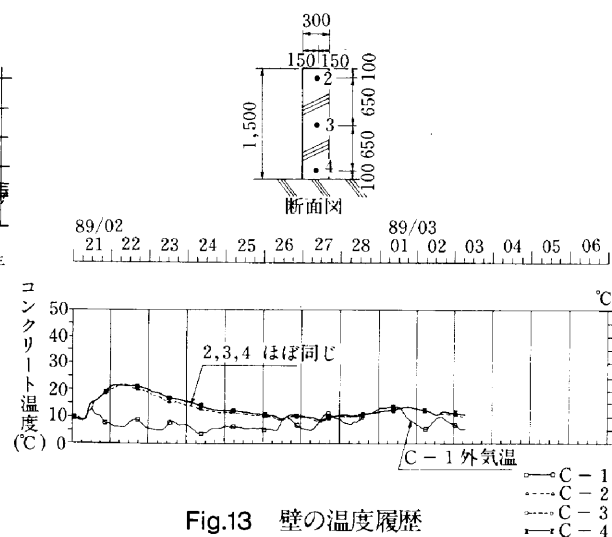


Fig.13 壁の温度履歴

§7. おわりに

地中梁を中心に報告したが、一般的に地中梁はマスコ

ンとなり得る要素をもっており、今後は高炉セメントB種を採用できる実績が得られたと思われる。また、当現

場では地下立上りの躯体にも高炉セメント B 種を使用してクラック予防した。なお温度補正值の期間に注意して、普通ポルトランドセメントと組合せて使用していけば非常に利用価値のある材料であると思われる。当現場では捨コン、嵩上げコンにも高炉セメント B 種を使用し、良好な結果を得た。

本報告が今後、メッシュ筋、ネジテッコン、アンカーボルトの設置方法、高炉セメント B 種の採用において施工計画の一助となれば幸いである。

最後に、本工事にあたり御指導を頂きました建材試験センター、東京建築防災センター、ムトーアソシエイツ、鹿島建設、大林組の技術研究所、JV の職員の皆様には心から感謝いたします。