

金山発電所の設計と施工について

正員 戸村 俊夫*

1. 発電所の概要

金山発電所は北海道総合開発計画の一環として、空知川中流部に建設される多目的ダムに付属する発電設備である。

ダム型式は中空重力式で本道最初のものであり、貯水効率(貯水量とダム体積との比)は非常に大きい。この発電所はヘッドタイプのダム水路式発電所で、運転に当っては洪水調節のための諸制限とかんがい、上水道の用水確保のための諸条件を遵守しなければならない。

取水塔はダムの右岸側に設けられ、表面取水式のフロー

テングタイプゲートから最大48.4 m³/s を取水し、延長204 m の水圧鉄管路でダム下流右岸側に設けた半地下式発電所に導水し、62.25 m の落差を得て、最大出力25,000 kW を発電したうえ、延長2,570 m の放水路トンネルで空知川に還流するものである。

この発電所工事の特色は地表下41 m に達する半地下式発電所基礎の施工にあるが、本稿ではこの発電所基礎工事について報告する。

発電所の計画諸元、設備概要は次のとおりである。

(1) 計画概要

- 河川名 石狩川水系空知川
- 位置 空知郡南富良野村字金山
- 流域面積 470 km²
- 使用水量および発電力

	最 大	常 時	常時尖頭
使用水量 (m ³ /s)	48.4	5.12	30.7
有効落差 (m)	62.25	63.83	48.78
発電力 (kW)	25,000	—	12,000

e) 年間可能電力量

自 己	83,592 MWH	} 計 91,415 MWH
下流増	7,823 MWH	

(2) 土木設備

- ダム 可動ゲート付中空重力式コンクリート造り
堤高57 m, 堤頂長292.5 m, 堤体積220,000 m³, 総貯水量150,450,000 m³, 有効貯水量130,420,000 m³, 満水位標高345 m, 利用水深25 m
- 取水口 表面取水式取水塔(フローテングゲート付)
高さ56 m, 直径12.0~4.0 m
- 水圧管路 埋設式1条
内径4.0~3.0 m, 管厚13~19 mm, 斜長203.984 m
- 放水路 標準馬蹄型無圧自流式トンネル
内径4.52 m, 延長2,618.215 m (放水池30.069 m, トンネル2,570.146 m, 放水口18.000 m)
- 発電所 鉄筋コンクリート造り半地下式
間口13.9 m, 奥行21.0 m, 深さ41.0 m (整地面下)



図—1 金山発電所位置図

* 北海道電力 KK 金山水力発電所建設所

(3) 電気設備

- a) 水車 型式 立軸単輪単流渦巻型カプラン水車
容量 27,000 kW 1台
- b) 発電機 型式 立軸三相交流同期発電機
容量 28,000 kVA 1台
- c) 主要変圧器 型式 屋外油入自冷式
容量 28,000 kVA 1台

(4) 工期・工事費・施工業者

- a) 工事期間 着工 総合開発事業 昭和37年4月
発電部門 昭和40年5月
運転開始 昭和42年7月
竣工 昭和42年10月
- b) 総工事費 2,611,000,000 円
- c) 工事施工業者 土木工事 1工区 鹿島建設
2工区 伊藤組土建
水車・発電機・主変 日立製作所

2. 発電所付近の地質と半地下式選定の理由

2.1 地 質

この地域の地質は中生代の空知層群に属する輝緑岩を主としており、一部に砂岩、粘板岩、チャートを混え、またかなりの範囲に蛇紋岩が分布している。発電所位置は表土は厚さ4~7mの河川堆積の円礫を混える土砂層で、地山は輝緑岩からなっている。岩質は土砂層に接する4~5mが風化してるほかは堅硬で断層や破碎帯は見受けられない。なお、工事着手に当っては発電所位置に5孔、総延長50mのボーリングを実施して地質を確認し、設計、施工の万全を期した。

2.2 半地下式選定の理由

この発電所の放水位は総合開発事業のかんがい部門である下流山部頭首口に関連して河川の有効利用の面からきめ

られたが、ヘッドタイプ半地下式発電所が選定された主な理由としては次のものが挙げられる。

(1) ヘッドタイプの選定

放水口付近は山が川岸に迫り、地形上地上式発電所建設が困難であることと、テールタイプの場合は貯水池の利用水深25mに耐えうる圧力導水路トンネルを必要とするが、ヘッドタイプのときは比較的低廉な無圧放水路トンネルになるので建設費が低減出来る。

(2) 半地下式の選定

発電所位置はボーリングの結果、地表から8~10mが粘土混り砂利、風化層であって、純地下式の場合は天井アーチで着岩部に当るため、その掘削、コンクリート巻立てが困難なので上層部を開削する半地下式とした。また、経済的な配慮から地表下の容積を極力縮小するため、水車、発電機とそれに付属する補機関係のみを地下に設置し、操作機構などは可能なかぎり地上本館内に設けるようにした。

3. 発電所基礎の設計

半地下式発電所の構造の概要は図-3、図-4に示す。地下の構造物の場合は岩盤の圧力、滲透水による圧力、地震力などの外力の側壁への作用については不確定な要素が多いが次の仮定により設計を行なった。

(1) 土木工事と建築工事の境界をEL 288.700とし、上層部の粘土混り砂礫などの土圧による水平力は、この境界に設ける水平梁が負担するものとする。従ってEL 288.700以下の輝緑岩部分に出来る側壁には上部建家からの荷重(120トンクレーン1基、偏心荷重)のみとする。

(2) クレーン荷重は主機室(EL 274.300)を固定端とし、側壁上端(EL 288.700)を自由端とする片持梁で受持つ。

(3) 水圧は側壁の本巻コンクリートと仮巻コンクリートとの間に排水設備を施工することにより考慮しない。

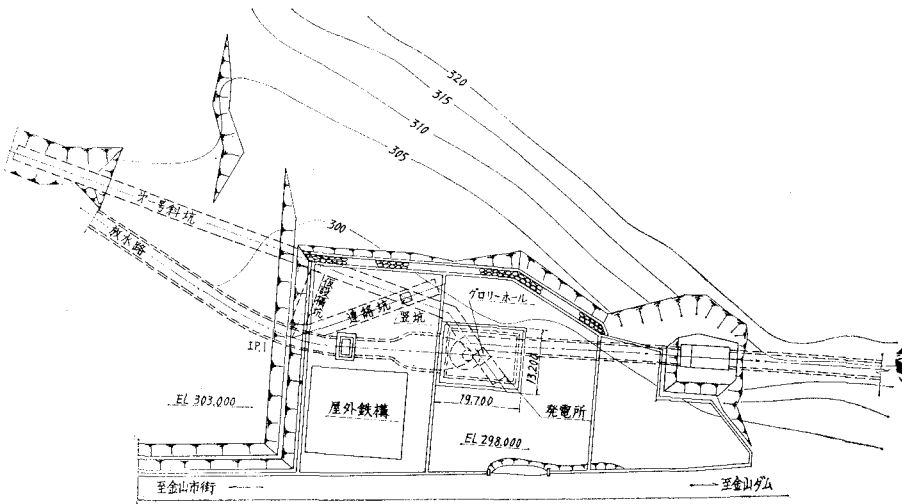


図-2 発電所附近平面図

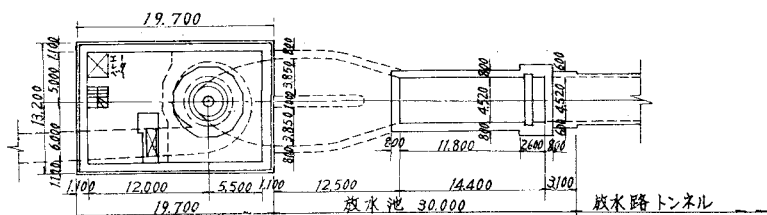


図-3 発電所放水池調水室平面図

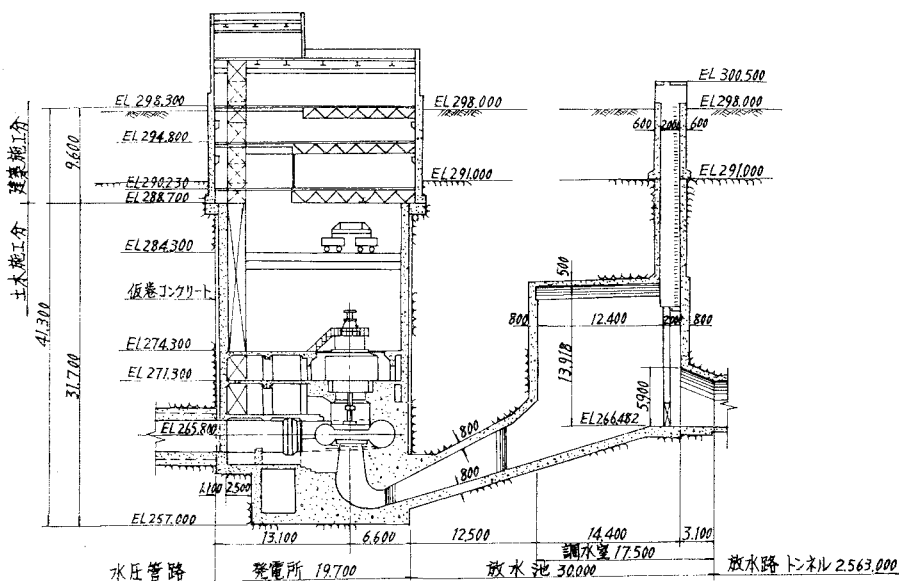


図-4 発電所放水池調水室縦断面図

(4) 岩盤からの側圧はアンカーバー及び仮巻コンクリート施工中の状態すなわちアンカーバーの応力測定結果からみて、少なくとも常時はこのままで充分安全であるとの見通しを得たので考慮しない。

(5) 地震荷重は水平震度 $k=0.15$ として計算する。地震力は本巻、仮巻コンクリート、岩盤のゆるみ部分 (1m と仮定)、クレーン自重に作用するものとする。ただし、クレーンの吊荷重 (最大 120 トン) と同時に作用しないものとする。

(6) 水平荷重 (地震荷重) はクレーン受桁 (EL 284.300) および主機室 (EL 274.300) に水平梁を設けて 4 辺または 3 辺) 固定スラブによって担うものとする。

4. 発電所基礎の施工

4.1 掘 削

地下発電所の掘削工法は既に種々検討され報告されているが、本発電所は地表より 8.5 m の深さまでオープンカットを行ない、EL 389.500 以下の本体の掘削は底部よりグローリーホールを立上げてから、ベンチカット工法によって掘削し、ずりをグローリーホールより落とし込み底部より作業

表-1 発電所基礎の切取掘削量

箇 所	数 量 (m^3)	記 事
EL 298.000~EL 289.500		オープンカット
土	2,170	
風 化 帯	1,200	
小 計	3,370	
EL 289.500~EL 257.000		グローリーホール
建家基礎よりドラフト基礎まで	8,270	方式による掘削
計	11,640	

坑を経て坑外に搬出した。盤下げの掘削は上、下流断面ずつ行なったが、次の盤下げに先だち肌落ち防止のためアンカーバー埋込みと仮巻コンクリート (1 リフト 3 m) によって岩盤を押えながら施工した。発電所基礎の切取、掘削量は約 12,000 m^3 に達したが、その内訳は表-1 のとおりである。

(1) 作 業 坑

発電所基礎、水圧鉄管路、放水池および放水路のずり出

しは1本の作業斜坑により行なった。すなわち、1:2の勾配で掘削断面4.20×2.00mの斜坑を掘進し、発電所建家中心の底部 EL 257.000 盤よりグローリーホール(掘削断面2.50×2.00m)を立ち上げて上部と連絡し、発電所基礎部および水圧鉄管路斜坑部のずりを搬出した。また、斜坑の途中より放水池、放水路工事のための材料搬入横坑を分岐して設け、さらにもう1本平面的に斜坑と交差させて横坑を設け、斜坑と立坑により連絡し、ずりの搬出を行なった。

(2) 本体掘削

本体の掘削と仮巻コンクリート打設は片側20日サイクルと計画したが、掘削断面の広さが19.70×13.20mと小さいため、発破をかける日時に制約が大きく、仮巻用の鉄筋組立、型枠など日中作業をしている時間帯および、コンクリート打設の当日と打設後1昼夜は発破作業を中止した。このため発破作業は20日サイクルのうち7日程度であった。掘削工法としてはベンチカットのリフトを1.2mとし、レッグドリル4台を使用し、削孔は1m³に1本、削孔長1.5mとし、爆破後のずりは人力によってグローリーホールに押出し、底部に漏斗担いを設けて、容量3.0m³のグランピートロに積込んで斜坑より搬出した。グランピートロは2台を設備し巻上げ速度60m/分で昇降するようにしたが、これにより1昼夜当りのずり出し量は地山量で平均43m³、最大100m³に達した。また、掘削時における湧水は発電所基礎ばかりでなく水圧鉄管路、放水池、作業斜坑より集中し、最大120ℓ/分であったが、タービンポンプ

表-2 発電所掘削, 仮巻コンクリートサイクル

工種	日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
芽 孔																									
装 填 発 破																									
礫 出																									
壁面仕上																									
アンカーバー																									
鉄筋組立																									
型 枠																									
仮巻コンクリート																									

□ 上流側半断面 ■ 下流側半断面

5インチ5段37kW 1台, 4インチ5段37kW 1台, 計2台を設備して地表に排水した。表-2に発電所基礎の掘削および仮巻コンクリートのサイクルを示す。

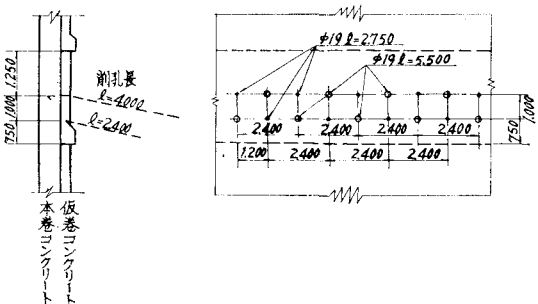
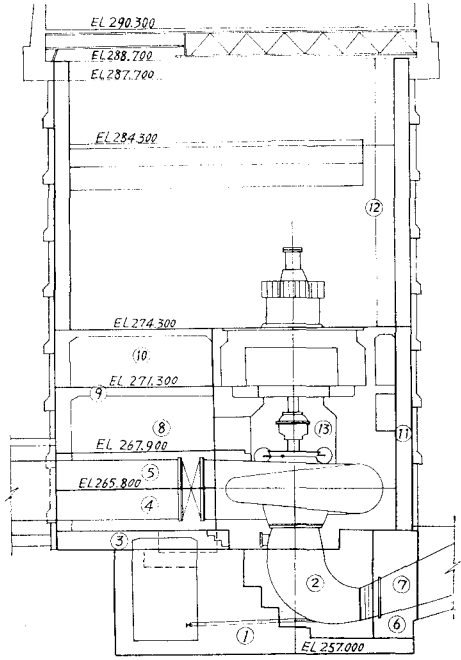


図-5 アンカーバー

表-3 発電所基礎コンクリート工程表

箇所	種 別	昭和47年											
		3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		
1	ドラフト基礎コンクリート												
2	埋込コンクリート												
3	水圧鉄管側 EL 263.700												
4	側壁 EL265.900												
5	EL 267.900												
6	コンクリートドラフト 敷コンクリート25%分												
7	側 壁 天 井												
8	水圧鉄管側 EL271.300 軒下												
9	EL271.300 スラブ												
10	EL 274.300												
11	放水路側 EL 274.300												
12	本巻コンクリート EL274.300 上部												
13	バルケシング埋込												
	ドラフト組立掘付												
	クレーンケシング外												



3) アンカーバー工法

アンカーバー工法は掘削による岩盤のゆるみ部分と仮巻コンクリート(巻厚 30 cm)をゆるみ領域を越えて充分基盤に定着することにより、削孔長 4.0 m と 2.4 m を千鳥に配置し、1.8 m²に鉄筋 ϕ 19 mm 1 本の割合で使用した。レッグハンマーのビット ϕ 38 mm で削孔し、アンカーモルタルと鉄筋を入れ、モルタルの付着力によってアンカーするものである。アンカーバーの引抜試験およびアンカー用モルタルの配合試験についてはあとに述べる。

4.2 基礎と側壁のコンクリート

基礎コンクリートおよび側壁コンクリートは掘削完了後開始し、ドラフトおよび水車据付工事工程との関連から昭和 41 年 3 月 11 日から 7 月 30 日まで約 7 カ月半で施工した。側壁の型枠はメタルフォーム(100×1,500×55)を使用した。掘削時に埋込んだアンカーバーを利用し、ライトゲージ(200×75×25×4.5)をシーボルト(ϕ 16 mm)で締付けて、型枠立込みを行なった。1 リフトの打設高さは各階によって異なるが、平均 2.0 m である。打設用足場段取りはビディ足場を利用して全側壁に沿って回廊式に組上げ、突桁式のクレーン受桁のコンクリート打設にもこの足場を利用出来るよう計画した。コンクリートの打設はバッテリープラントから鍋トロで発電所建家(EL 298.000)まで運搬し、これよりシュートで EL 290.000 に設けたホッパーで一旦受け、さらに猫車で小運搬し、シュートを通し打設足場に設けた小型のホッパーで受けてから打設個所に投入する方法をとった。

4.3 湧水処理工法

地下式発電所の湧水処理工法は二重壁として防湿と吸音を考慮している例が多いが、本発電所では事務室、配電盤室が地上にあるので、照明、騒音防止上問題が少ないこと、地質上の必要から仮巻コンクリート工法を採用したので、この仮巻と本巻コンクリートの間に排水設備をすることにより二重壁を設けぬ経済的設計とした。その排水計画は次のとおりである。

(1) 地表より EL 289.500 までの 8.5 m 間の湧水および滲透水の処理は、本館基礎周囲 EL 289.500 盤に U 字溝(240×240×600)を伏せ、栗石で盲暗渠とし、集水した排水を放水池終端付近へ 8 インチパイプを通して処理することにしたが、さらに予備管として本館内に 4 インチパイプ 2 本を通し、排水可能な設備にした。

(2) EL 298.500 以下の湧水、滲透水処理工法としては既

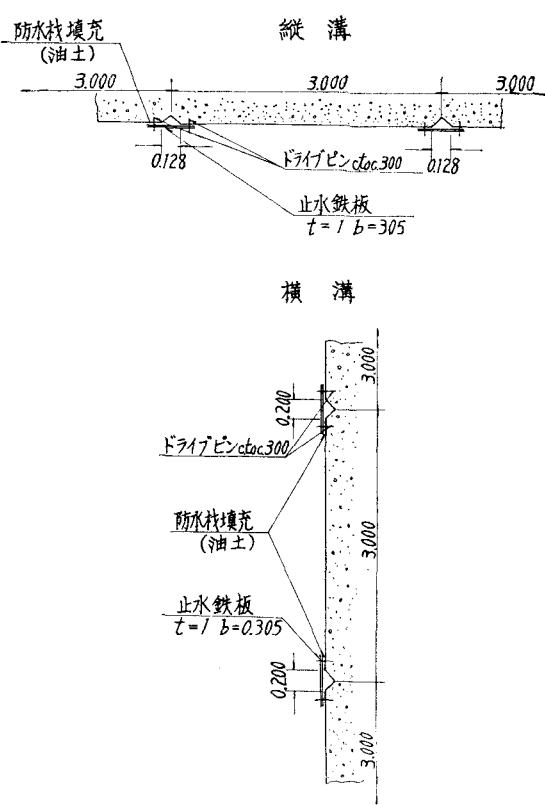


図-6 側壁排水溝

に述べたように側壁の仮巻コンクリートに図-6に示すように 3 m 間隔の縦横の基盤目状に三角形の排水溝を設け、これに厚さ 1 mm の鉄板をドライビットで留め、鉄板と仮巻コンクリートとの間隙は油土を用いて閉塞し本巻コンクリート打設により排水溝としての機能を失なわないよう注意して施工した。この三角形の排水溝の末端に塩化ビニール管 5 インチを布設して集中し、排水ピットへ導いた。

5. アンカーバー各種試験

5.1 アンカーモルタル配合試験

アンカーバーを岩盤に確実に定着させるモルタルの性質は、施工に適した流動性を有すること、所要の強度、耐久性のあることが要求されるので、次のような現場試験の結果にもとづき配合を決定した。

(1) 使用材料

フライアッシュセメント B 種(フライアッシュ 20%

表-4 アンカーモルタル配合

	フライ ア ッ シュ セ メント (kg)	砂 (kg)	アル ミ フ レ ーク (g)	ビ ン ゾ ール (cc)	水 (kg)	フロー値 (sec)	膨脹率 (%)	圧縮強さ σ_3 (kg/cm ²)	曲げ強さ σ_3 (kg/cm ²)	ブリー ジ ン グ 率 (%)
1 m ³ 当り	820	820	126	615	410	23±3	2.0	56	0.3	4.0

混入)

砂 (空知川産 粒径 2.5 mm 以下) 比重 2.7

アルミフレーク (250 メッシュ)

ビンゾール (山宗化学製)

(2) 配合試験

現場における配合試験のため、試験器具の関係上次の3試験とした。

- a) 流動性試験
- b) ブリージング率および膨脹率
- c) 圧縮、曲げ試験

5.2 アンカーバー引抜試験

この試験は発電所基礎 EL 289.500 盤に削孔し、採用したアンカーモルタルとアンカーバーの付着強度およびモルタルと基盤との破壊強さを知ると共に、アンカーバー使用の際の資料を得るため次の要領で実施した。

a) アンカーの根入長および引抜試験数量は表-5に示す。

表-5 アンカーバー引抜試験数量

アンカーバー径 (mm)	アンカーモルタル養生期間	アンカーバー根入長 および本数 (本)		
		2.4 m	3.5 m	4.0 m
φ 16	3 日	2		
	7 日	2		
	計	4		
φ 19	3 日	2	2	2
	7 日	2	2	2
	計	4	4	4

b) 鉄筋の応力測定

アンカーバーにストレンゲージを貼り付け歪測定を行った。ストレンゲージの貼付位置は深度 0, 0.2, 0.4, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0 m とした。

c) 基盤および鉄筋の変位量測定

アンカーバーに引張力を与え、鉄筋とモルタルおよびモルタルと基盤の定着部分に生ずる変位量(浮上り量)をアンカーバーとその中心より 15, 40 cm の距離に取付けたダイヤルゲージによって計測した。

d) 荷重装置

引張荷重はアンカーバーより 1 m 離れた基盤に反力をと

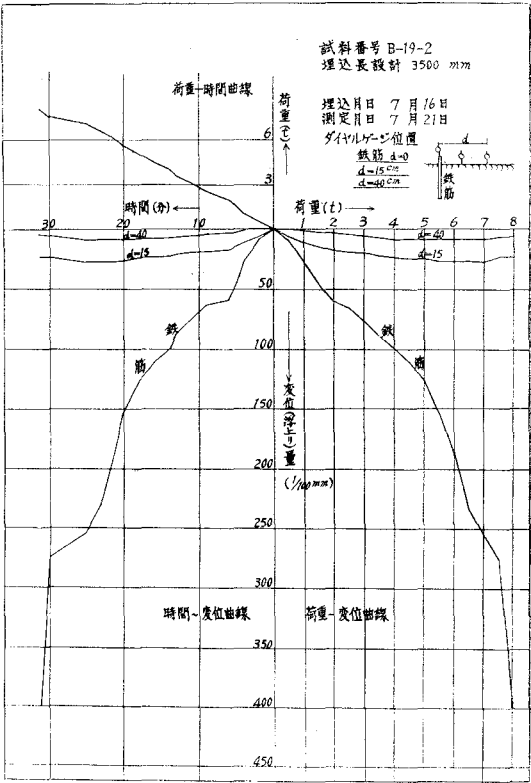


図-7 アンカーバー荷重変位曲線

表-6 アンカーバー引抜き荷重 (単位 トン)

アンカーバー径 (mm)	試験期日 (養生期間)	アンカーバー根入長		
		2.4 m	3.5 m	4.0 m
φ 16	σ ₄ (4日強度)	σ ₄ =4.0		
	σ ₉ (9日 ")	σ ₉ =5.0		
φ 19	σ _{4~5} (4~5日強度)	σ ₄ =6.5	σ ₅ =7.5	σ ₅ =8.0
	σ _{8~9} (8~9日 ")	σ ₈ =7.0	σ ₈ =7.5	σ ₈ =8.0

り、センターホールジャッキを使用して与えた。このジャッキは PC 鋼棒などの応力導入用として使用されてるもので容易に引張力を与えることが出来た。

試験結果は表-6のとおりであるが、アンカーバー引抜き時の破壊強さはモルタルと鉄筋の付着強度によって定まることが判った。なお、試験要領では 3, 7 日養生であったが現場の掘削作業の関係から 1~2 日遅れて引抜試験を行なった。