

(3) 野満隆治 “A theory of Tsunami and Seiches produced by wind and Gradient”, The Memory of The College of Science, Kyoto

Imperial university, Series A, Vol. XVIII. No.4, (1935) p.201

大夕張鉱業所新斜坑セメント注入工事

正員 釘宮 健 二*

CEMENT GROUTING WORKS OF INCLINED SHAFT

(JSCE, Apr. 1950)

by Kenji Kugimiya C.E.Member

Synopsis This is the brief description of the work as well as explanation of the fundamental principles of grouting cement applied. This also shows grouting pressure, grouting capacity, grouting concentration and quantity of grouting cement used at work by field data, classifying the types of cement grouting to division wall cement grouting, Hakobuchi sand stone strata cement grouting, Noborikawa coal bearing strata cement grouting and expeditional cement grouting by grouting pressure time curve, grouting pressure concentration curve.

緒言 本文は三菱鉱業株式会社大夕張鉱業所新斜坑開さくに当り運輸省技術陣が大夕張鉱業所と協力して実施したセメント注入工事の報告である。

1. 施工の概要

a. 一般

大夕張鉱業所新斜坑は、鹿島沢区域深部（整層部約450万屯、逆層部約350万屯）及び雁皮原区域（約1500万屯）に於ける合計2300万屯に及ぶ可採炭量の開発を主目的とし、併せて坑内運搬及び通風の合理化を図るため計画されたものである。

想定通過岩石層は表一の通りで、この中函淵砂岩層と登川夾炭層とが含水層で掘さくを困難ならしめておりこれにセメント注入工法を採用した。

表一 通過予定岩石層

岩 層	岩 種	延長(m)	記 事
上部 菊石層	頁岩	540	白亜紀 含水硬頁 砂岩
函淵層	砂岩	390	
登川夾炭層	同上		
幌別層	頁岩	140	下紀第三紀
夕張夾炭層		.90	
幌内層	頁岩	605	
若鍋層	砂岩	102	
夕張夾炭層		75	
幌別層		193	
計		2135	

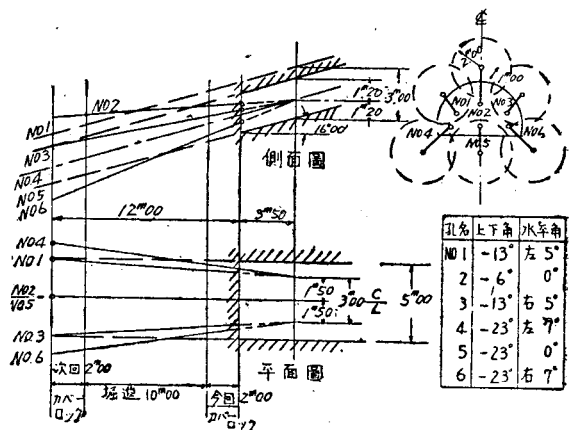
掘さく坑道はベルト卸、入車卸の2本で、その中心間隔は30mである。新斜坑傾斜は下向16°、延長2135m、坑道幅5m、高さ3.20mである。

b. 施工

注入試錐規格 注入試錐は圖一に示す通り実施した。注入孔によるセメント注入の有効範囲を2mと仮定し、注入孔は6本を計画した。実施の結果から見てこの計画は適切なものであつた。注入孔の長さは通常12~15mを用いたが、試錐容易なところでは20mとした。然し20m附近のセメント注入にはなお問題が残っている。試錐にはヘビードリフター及び回転式試錐機を用いた。さく岩機によるさく孔は下向孔は困難なので大体水平孔とした。セメント注入には大和3連式横型注入ポンプを用いた（諸元は後述）。

圖一 試錐注入規格

Fig.1 Specification of boring and grouting

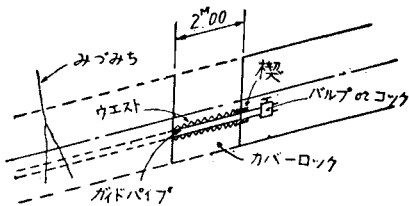


注入作業（圖一参照）カバーロック：セメント溶液が圧入されて行く岩石の割れ目、空洞又は断面面等よ

* 日本建機株式会社

り大気面までの岩石をいうが、新斜坑では前注入の際の2m部分を残し、之をカバーロックと呼称した。こ

圖-2 ガイドパイプ埋設規格
Fig.2 Specification of grounding guidepipe



れは圧入したセメント溶液の逆噴を防止するのが目的である。

ガイドパイプ：試錐孔に挿入する鉄管で、口径 2' 3' の瓦斯管をカバーロックの信頼性に應じ 2~3m の長さにして用いた。

バルブ、コック：特殊に考案した高圧バルブ又はマンホールコックを用いた。ガイドパイプに取付け注入作業に用いると同時に試錐中の不時の湧水の止水に対しても用いた。

ガイドパイプ埋設方法：2' 又は 3' のガイドパイプ全長にウエマト又は楓肌を捲きさく岩機に依るさく孔の時は 3'、試錐機に依る穿孔の時には 65mm の試錐孔にガイドパイプを廻しながら叩き込み、金楔を用いて孔口元をコーキングする。然る後ガイドパイプ縮上げ注入を実施してセメント溶液を圧入し耐圧 *

*100kg/cm² 程度とする。

通常さく岩機によるさく孔の時は最初 3'、試錐機による穿孔の時は最初 65mm で、試錐孔を約 3m 試錐する。次にガイドパイプを挿入しコーキングしてガイドパイプを縮上げセメント注入するガイドパイプ縮上げセメント注入終了後はさく岩機の時はビットゲージ 2⁷/₈~2¹/₈" まで、試錐機による時には 45mm クラウンでさく穿孔する。不時の湧水 1/10 ケ以上の時は直ぐコックを閉じて、切羽湧水を防止しながらセメント注入を直に実施する。もし湧水が 1/10 ケ以下の時には所定のさく穿孔長まで穿さくした後にセメント注入を実施した。

使用試錐機の諸元は表-2 の通りである。使用クラ

表-2 試錐機諸元

		機名	仕様	
試錐機	利根式試錐機	軽便N型試験用	50~100m用	
	大和式試錐機	BG小型	150m用	
	シユラムハーカー式試錐機	手動試錐機	650m用	

ウン径は 65, 45mm, 使用メタルはトリデアメタルである。

使用さく岩機の諸元は表-3 の通である。ビットはジャックビット、火造ビットを併用してゐる。ビットゲージは 4, 3, 2⁷/₈" より 2¹/₈" までのものを用いた。 **

表-3 さく岩機諸元

機名	重量 (lb)	機長 (in)	送り長サ (in)	馬力 (HP)	打撃数 (分)	シリンダ (径)	ピストンストローク	回轉	空気消費量	錐鋼 (in)	ピストンハンマー重量 (lb)
S-80	235	69	40			3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₂	エアータ-ピン式	200	1 ¹ / ₄	
D-34	240	49	33			4	4 ⁶ / ₈	同上	210	"	11
D-72	145	49	24	2.7	1750	3 ¹ / ₂	2 ⁵ / ₈	ライフルバー式	140	"	8 ² / ₃

**使用注入ポンプの諸元は表-4 の通りである。然し殆んど大和3速式横型注入ポンプを用いた。

2. 採用したセメント注入の基礎方針

セメント注入の基礎方針決定の資料としては「セメント注入した砂及び砂利についての実験的観察 (A. S. C. E. 1946 年 11 月記載)」「大夕張鉱業所開発課で実施した実験」「鉄道技術研究所施工研究室にて実施中の実験」「施工中の経験」を挙げる事が出来る。これらの詳細に関してはこゝでは省略し、單に基礎方針立案に採用した結論のみを述べると次の様になる。

(1) 注入ポンプの性能は注入圧力よりも注入容量を

**吟味しなければならぬ。

従來の注入に於ては注入困難に遭遇した場合、先ず注入圧力を吟味していたがこれは機械の許容馬力数即ち注入容量と注入圧力に着眼すべきことは当然である。現在の注入ポンプは揚水ポンプより発達したもので、大体注入容量は一定であり、特に改良されたものでも2~3段に切換えられるのに反し、注入圧力は最終注入圧力まで連続的に変化し得るためとかく注入容量より注入圧力が吟味されていた。今後はこの考え方を棄て、まず注入容量第1, 注入圧力第2, というように考え方を交えねばならぬ。注入容量の大きなポンプと云つても

表-4 各種注入ポンプ諸元

	盤炭式	盤炭式	高島式	大和式大堅型	大和3連横型
型式	横型直列2連 プランヂヤー	同左	同左	2体単動式 縦型	3連複動式横型
ポンプ直径 (in)	1 7/8	1 5/16	2 1/8	3 3/4	3
衝程 (in)	8	8	16 3/4	6	6
圧力 (lb/in ²)	低			426	500
	高	1 000	2 000	2 000	1 000
容量 (尺 ³ /分)	高			5	5.3
	低	0.8	0.2	3.4	2.5
パイプ径 (in)	吐出	3/4	1 1/4	2	1
	吸入	"	1 1/4	1	2
クランク 回転数	低			60	26
	高			30	28
備考					3連式を3連(1.5尺 ³ /分), 2連(1.0尺 ³ /分), 1連 (0.5尺 ³ /分) 容量として 使用する。

地山に適當する最大の注入容量を定めることは勿論である。

(2) 加圧方法は緩慢に徐々に加圧するよりも、急激にする方が、注入の効果がある。即ち注入安定圧力、換言すれば、注入開始の圧力と終止圧力との間で最も長く持続する注入圧力を見極めて、可及的速に濃度やら容量を変化させこの圧力までもつて行き、注入を続けねばならぬ。理論的にいえば機械の機構さえ許せば注入終止圧力まで注入容量を変化させ、その後は漸次容量を落して注入終止圧力を持続し注入を終了させる。この考え方は前項の山に應ずる最大の注入容量を持続すると云う考え方と表裏の関係がある。

(3) 注入作業開始後は作業が不連続とならぬようにし、終了させねばならぬ。注入作業開始後注入ポンプの故障とか地山よりのセメントミルクの逆噴等で注入を中止するとき、圧入中のセメントミルクの流れが一時的止り、セメント粒子は運動エネルギーを失い沈澱を起し、又2,3粒子の結合力を増大して粒子が大になる可能性も増し、凝結作用を起し始める傾向さえも考えられる。そして注入再開後最初の間は強力な力を必要とし且つ長時間の中止はセメント注入が不完全に終了したことになる。注入ポンプの故障はバルブシートの入換、ボールバルブの入換、パッキン類の交換等は止むを得ぬものであるが、停電や、不完全な整備に基く故障は防止出来るものである。前者は注入ポンプの改良

なくしては現在は防止し得ない。地山よりのセメントミルクの逆噴による中止は施工の計画及び実施の再検討に依り 60% はさけられる。注入中止は中止時間の長さに比例して注入に悪影響を與えることは明かであるが、注入の際にこの現象を利用して、どうしても逆噴する地山注入に当りコーキング施工と相まつて成功せしめ得ることもある。

(4) 臨界濃度の考え方 セメントミルクの濃薄何れを用いた方が多量に注入し得るかは別として、濃度は薄い方が注入圧力が低いし、総体的に薄濃度のものを用いた方が総注入量も多い様である。唯薄濃度のものを用いた時は能率悪く、注入に長時間を要する。そこで注入の成果と能率を考えて濃度を如何に定めるかは技術者として最も困難な問題となる。この立場から臨界濃度の考え方の結果は大いに役立つ。5~15メッシュ程度の岩石の湧水目に対しては濃度は影響を與えない。15~30メッシュでは 2/10 の濃度以上は注入圧力に影響を及ぼす。30メッシュ以上の岩石の湧水目は全濃度が注入圧力に大きな影響を及ぼす。結局臨界濃度線を限界にして、濃度に細心の注意を拂うべき時と、注意しないで濃い濃度を用いてもよい場合とがある。これを考えて能率的に即ち出来るだけ濃い濃度を使用すれば注入の成果もあがるし能率もよくなつて来る。

(5) 水洗い又は水注入 乾燥した岩石の目へ注入するよりも濕潤した目へ注入する方が容易である。換

言すれば注入圧力が上昇しない。セメントミルク注入前の 30 分～1 時間前に水洗い又は水注入をすることは以上の利点の他岩石目の介雑物を洗滌する役にも立つし、その際の注入圧力は注入の成否を判定するのに大きな要因となるので、必ず実施する必要がある。又注入中断後の再開前の水注入も注入圧力をさげるのに大いに役立つ。

以上の結論を基礎として決定した基礎方針は次の通りである。

a. 注入容量, 注入濃度について

注入圧力に大きな影響を及ぼす注入容量, 注入濃度 *

* の 2 因子中容量の変化は濃度の変化より大きな影響を有するが、注入ポンプの容量を考える時には濃度も容量の中に含めてセメントを単位時間に送り得る量と考えることが適当である。セメントミルクを単位時間に送り得る量となると、容量だけの考えになつてしまい揚水ポンプの容量と何等変りがない。勿論前述の様に容量と濃度とを同列に考えることは間違いで容量の方を重く考えることが理論的には正しい。大和 3 連式注入ポンプをこの広義の濃度をも含めた容量の考え方で容量大から容量小に列挙すると表-5 の通りとなる。 **

表-5 プランチャー数切換と濃度による壓入セメント量の変化

容 量	大													小					
	10/10	9/10	8/10	7/10	6/10	5/10	4/10	3/10	2/10	1/10	1/20	1/30	1/10	1/20	1/30				
濃度 セメント/水容量比																			
プランチャー数	3 連式													2 連式			1 連式		
狭義の セメントミルクの容量	1.8~1.9 尺 ³ /分													1.0~1.2 尺 ³ /分			0.6 尺 ³ /分		
単位時間に送り得るセメント量 袋/分 10~2	132.5	119.3	106	93.2	79.8	66.6	53.2	39.9	26.5	13.3	6.6	3.4	8.8	4.4	2.2	4.4	2.2	1.1	

**b. 注入圧力について

(イ) 根本方針 注入開始時の注入圧力と注入終了時の圧力との間で最も注入が長く続く注入安定圧力を決定する。前述の広義の注入容量の中で、この注入安定圧力に達する注入容量を決定する。然し之は各注入孔によつて注入の性質が異なるので、無理のない容量から漸次揚げ安定圧力に達せしめる試的方法を取る。注入安定圧力より上昇の気味ある時には注入容量を落し能率を加味しない時には 1 連式の 1/30 で終止させるのが止水注入工法より云えば最も理想的な方法である。

(ロ) 水洗 注入開始時と注入中断後再開の時の注入圧力が一定する迄出来るだけ注入圧力をさげる目的で水注入を 30 分～1 時間実施する。

(ハ) 注入容量の変化 セメントミルクを送る量即ち狭義の注入容量は必ず大から小の方に進めるべきで、小より大の方に持つて行つてはならない。但し濃度の方は注入圧力の変化に依つては濃薄何れの方に向持つて行つてもよい。然し地質改良の性質の時は逆方向が許されることになる。

3. セメント注入の結果

現場で施工経験したセメント注入の結果を、セメント注入の注入圧力-注入時間曲線より見て異なる型式のものを次の 4 種に分類して述べることにする。セメント注入は施工上より大きく分ければ、隔壁を打つて注入する隔壁セメント注入と、地山に直接注入管を入れて注入する普通のセメント注入とがあり、目的又は

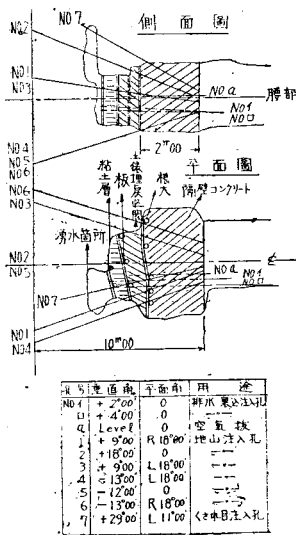
地山の場合より大きく分ければ、地質改良セメント注入と止水工法のセメント注入とがある。現場含水層は函淵砂岩と登川夾炭層との何れも砂岩系に属する層より出来てゐるが、ただ曲線型より見て夫々特色ある次の 4 種類にしたのである。尚セメント注入の完成段階より見ると、隔壁裏込セメント注入、湧水くされ目に対するセメント注入、普通の地山セメント注入の段階に分けて夫々考方を変えて見るのが良策である。三菱大夕張炭坑のセメント注入は止水工法のセメント注入の傾向にあり、述べた結果も止水工法のセメント注入を主とし、地質改良のセメント注入は従として取り上げているので考え方に幾分矛盾が起ることもある。尚函淵砂岩層登川夾炭層の、湧水圧力を夫々 12 kg/cm², 30 kg/cm² だつたと述べたが、之を地層の函数としての湧水圧力と誤解しないでほしい。地層の湧水圧力は、静水的に考えれば、地下水面より掘進坑道の深さまでの距離に殆んど比例することは明であり、動水的に考えて見ても、之にある度合の摩擦抵抗の損失、地山の圧迫等が関係して來ることと常識的に考えられる。ただ同一深度に於ける湧水圧力も同一水脈に起因するものでも地層変化のため不連続的に変化することはあり得ると推定している。又湧水圧力と湧水量とは屢々混同することがあるが、この両者は全然関係のないことを再認識されたい。

a. 隔壁セメント注入

地山にカバーロックを取れない地質軟弱ヶ所とが、掘

進中ポンプ揚水に依存出来ない多量の出水の場合は、掘進能率には大なる影響を與えるが隔壁を構築してセメント注入を実施するのが確実な方法である。現場では掘さく中湧水くされ目に遭遇し湧水量 $1/2$ ケ以上且つ湧水に粘土砂礫を含み地山の一部崩潰を認められる様な時にこの工法を採用した。隔壁は注入の際パスカルの原理に依り水圧機と全く同作用をすることになるので、湧水圧力を基準として正直に厚さを計画する要がある。不時出の湧水は湧水ヶ所前部に 50cm 厚の粘土層を板と板との間に介在させて集水し排水管で導出した。隔壁構築部分と湧水ヶ所との間の空間は後日の掘さくを容易にする目的で、粘土を土俵につめて裏込とした。隔壁構築セメント注入の具体例は圖一三に示してある。このヶ所は天盤より岩石を崩落させて湧水量 0.285 ケ湧水圧力は $12\text{kg}/\text{cm}^2$ あつたセメント注入の施工は天盤締上げセメント注入、隔壁裏込セメン*

圖一三 隔壁セメント注入施工圖
Fig.3 of Division wall cement grouting.

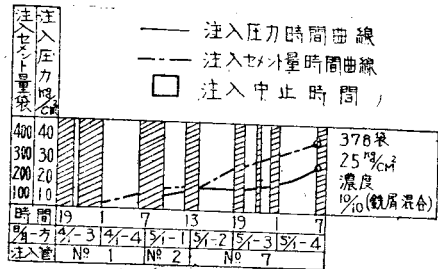


*ト注入、湧水くされ目セメント注入、地山セメント注入の4種類に考えて見た。天盤締上げセメント注入は図示されてないが隔壁中央部に管孔を出して腰部より上部に埋込んだ 1" 管により施工した。注入濃度は最初から $10/10$ 最終注入圧力は最大 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ に制限して天盤と隔壁間の間隙をなくする目的に対し、好結果を得た。隔壁裏込セメント注入は、圖一四に示してあるが、隔壁に出来るだけ圧力をかけない様にするため、水とセメントミルクを下の方より置換え、かつ湧水ヶ所から成る可く離れた部分から、セメント粒子を沈澱させる様に考えて施工した。注入濃度は成る可く早くセ

メントミルクの沈澱を望む見地より $10/10$ を用い、注入圧力は裏込セメント注入完成前に高圧力をかけると

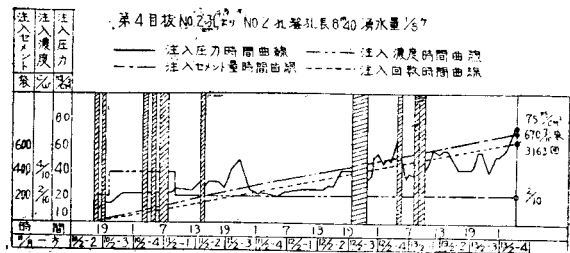
圖一四 隔壁裏込セメント注入時間曲線

Fig.4 Time study graph of cement grouting to partition backing wall



隔壁が破壊するおそれがあるのと湧水くされ目注入は裏込注入が完全でないとい出来ないので、湧水圧力 $12\text{kg}/\text{cm}^2$ の 2 倍の $25\text{kg}/\text{cm}^2$ を最大として好結果を得た。湧水くされ目のセメント注入は圖一五に示してある。地山セメント注入よりは大きな割目があることは

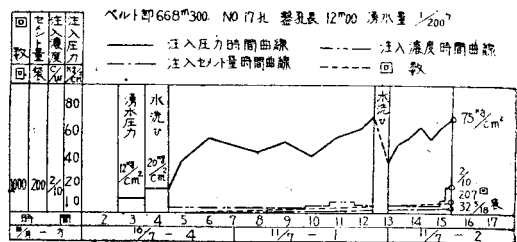
圖一五 湧水くされ目セメント注入時間曲線
Fig.5 Time study graph of cement grouting to water Leering bad cracks



明白なので、濃度は $2/10$ 注入圧力は地山セメント注入の場合と同じく $75\text{kg}/\text{cm}^2$ を限度とした。地山セメント注入は隔壁注入では逆噴もなく理想的なものが施工出来るが後述する部分と同様である。

圖一六 函淵砂岩層セメント注入時間曲線

Fig.6 Time study graph of Hakobuchi sand stone strata cement grouting

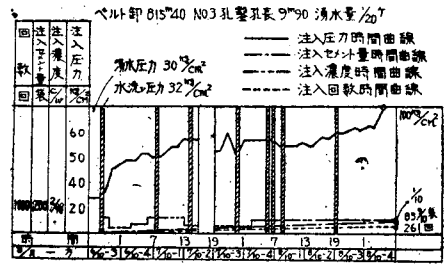


b. 函淵砂岩層セメント注入

函淵砂岩は硬砂岩である。この層は相互に連絡のない縦、横、長手方向に龜裂が発達している。この龜裂に水を含みセメント注入を困難ならしめている。函淵砂岩層では湧水圧力は 12kg/cm² であつた。注入はまず水洗いから開始したが、水洗い注入圧力は普通 20kg/cm² 程度であつた。注入濃度は普通 1/20 より開始した。注入圧力が濃度上昇により急激に増大した時には、水洗い注入をして注入圧力降下を期待して効果をおさめた。圖-6 に一例を示したが、このグラフでは注入の進行につれて逆に濃度を落してないが、後期の注入では濃度を落す方法をとつた。多量のセメントが圧入された例は少なく圧入量は 20~30 袋/孔の平均となつた。12kg/cm² の湧水圧力だつたので最終締上げセメント注入圧力 75kg/cm² は一寸大きすぎる感があつたが之を用いた。注入の最も長く続く間の注入圧力即ち注入安定圧力は 55~60kg/cm² であつた。上述の様に圧入セメント量が少ないので止水効果を期待するため出来る限りセメントを多量圧入することに努力し、最初は水洗い注入圧力を基準として濃度を神経質に変化させたが、後期に於ては機械の操作を考案して、注入容量を 1.9 尺³/分, 1.2 尺³/分, 0.6 尺³/分の 3 段階に変えて濃度は凡て 1/20 より開始することにして効果をおさめた。なお申し遅れたが、この層では

圖-7 登川夾炭層セメント注入時間曲線

Fig.7 Time study graph of Noborikawa coal bearing strata cement grouting

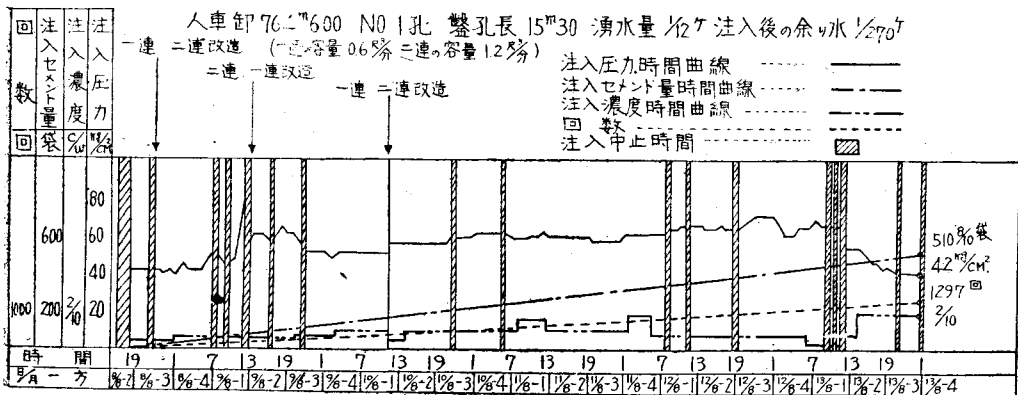


1.2 の容量が最適であつた。

c. 登川夾炭層セメント注入

登川夾炭層は砂質頁岩である。この層では湧水圧力は 30~32kg/cm² であつた。岩石中の龜裂は割合に單純で平面狀に拡がっている様である。圖-7 に一例を示したが、濃度の注入作業に及ぼす影響は前者の時より少ない様である。湧水圧力が前者より高いので、注入安定圧力も 70~75kg/cm² になつて注入に困難性を加えて來ている。適性注入容量は 1.2 尺³/分である。原則として注入は函淵砂岩層より容易となつたので、函淵砂岩層の注入方式を採用はしたが、之に能率を加味して、注入濃度をなるべく濃くして、注入量大、注入時間小の目的を狙つて注入作業を継続した。

圖-8 異例型セメント注入時間曲線 Fig.8 Time study graph of unordinary type cement grouting



d. 異例型セメント注入

異例型セメント注入は、登川夾炭層に入つてから介在する礫岩層でぶつかつたセメント注入で、從來現場で止水工法的傾向の注入が多かつたのに、地質改良の傾向の注入が行われたので異例型と名附けた。この注入は圖-8 に示す通り隔壁裏込セメント注入とは或る程度似ているが、前述した函淵砂岩、登川夾炭層セメン

ト注入とは全く合致せず、正反対の傾向をさへ示している。函淵、登川のセメント注入では注入容量の増大は注入の終止を意味する程悪影響を及ぼしているのにこの注入では容量を増大しても注入圧力に殆んど影響を及ぼしていない。低次の影響を與える濃度の影響を受けていないことは云う迄もない。礫岩層セメント注入を実施した結果から見ると、止水効果を期待するに

は地質改良のセメント注入では特に困難なことがわかる。結局これは地質改良のセメント注入は大雑づばな

注入になつてしまふと思われ止水効果を期待するとなると更に大きな努力と時間を要すると考えられる。

弾性基礎にある梁の撓み振動に関する 基礎的研究¹⁾

准 員 後 藤 尚 男*

FUNDAMENTAL STUDIES ON THE FLEXURAL VIBRATION OF BEAMS ON ELASTIC FOUNDATION.

(JSCE APR-1950)

Hisao Goto, C.E. Assoc. Member.

緒 言 本研究は弾性基礎にある均一な断面を有する直線梁が、各種の撓乱力を受ける場合の撓み振動を特に基礎の特質を考慮して取扱い、軌條及び枕木への適用を試みたものである。こゝに基礎の特質とは、基礎反力は梁の浮上り時には作用せず、且つ基礎の減衰抵抗は基礎反力の作用中、梁のふれ下るときのみ作用することをいう。この第1報ではこうした基礎の特質を考慮した研究の基礎解として、極く一般的取扱いを行つた。

1. 基礎方程式 一般に圖-1の如き梁の撓み振動曲線は正規函数を $u_r(x)$ とし、時間函数を一般座標 g_{rt} にとつて次の如く展開出来る。

$$y_{xt} = \sum_{r=1}^{\infty} u_r(x) g_{rt} \quad \dots\dots\dots (1)$$

位置のエネルギー V 、運動のエネルギー T ⁽¹⁾ 及び散逸函数 F ⁽²⁾ は、

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{EI}{2} \int_0^l \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{bK}{2} \int_0^l y^2 dx \\ T &= \frac{\rho a}{2} \int_0^l \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 dx \\ F &= \frac{\rho a k}{2} \int_0^l \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 dx + \frac{bR}{2} \int_0^l \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right)^2 dx \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

こゝに、 EI : 梁の曲げ剛性、 b : 梁巾、 l : 梁の材長、 a : 梁断面積、 ρ : 梁密度、 K : 基礎反力係数、 k : 梁材料の内部摩擦係数、 R : 基礎抵抗係数、

(2)式に(1)式を代入し、正規函数の直交性を考慮して演算を施し、その結果を Lagrange の運動方程式に代入すると、次の基礎方程式を得る。

$$\ddot{g}_{rt} + 2\varepsilon \dot{g}_{rt} + n_r^2 g_{rt} = \frac{1}{\rho a \alpha_r^2} Q_{rt} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{こゝに、} \varepsilon = \frac{1}{2\rho a} \{ \rho a k + bR \},$$

$$n_r^2 = \frac{1}{\rho a} \{ EI \frac{m_r^4}{l^4} + bK \}$$

Q_{rt} は撓乱力による一般力、 n_r は減衰のない場合の自由振動の円振動数であり、 α_r 、 m_r は梁の材端条件により決定される値である。

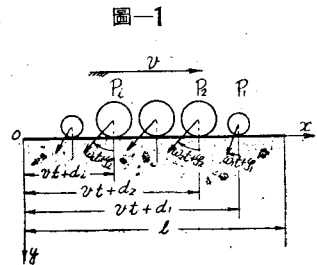
2. 各種のかく

乱力の作用する場合 圖-1の如き集中撓乱力が $P_i \cos(\omega_i t + \phi_i)$ なる週期力で、梁上を速度をもつて移動するときの一般力⁽⁴⁾ は

$$Q_{rt} = \sum_i P_i \cos(\omega_i t + \phi_i) u_r(vt + d_i), \text{ 但し } 0 \leq vt + d_i \leq l$$

これを(3)式に代入し、⁽⁵⁾ 常数変化の法によつて、 g_{rt} を求め、更に(1)式に代入すると、撓み y_{xt} が次の如く計算される。通常の形状、材質の梁で、普通の基礎の場合には $n_1 > \varepsilon^{**}$ で減衰振動をするときであるから、 $\sqrt{n_r^2 - \varepsilon^2} = \sigma_r^{**}$ とおいて、

$$\begin{aligned} y_{xt} &= e^{-\varepsilon t} \sum_{r=1}^{\infty} u_r(x) \{ c_r \cos \sigma_r t + c_r' \sin \sigma_r t \} \\ &+ \frac{e^{-\varepsilon t}}{\rho a} \sum_{r=1}^{\infty} \sum_i \frac{P_i u_r(x)}{\sigma_r \alpha_r^2} \int_0^t \cos(\omega_i \tau + \phi_i) u_r \\ &\quad (v\tau + d_i) e^{\varepsilon \tau} \sin \sigma_r (t - \tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$



* 京都大学、文部教官、工学部土木工学教室
1) 日本応用力学会、応用物理学会、音響学会連合講演会(昭24.12.3)において「弾性基礎にある梁の撓み振動の1解法」として講演