

混 凝 土 ポ ン プ の 實 験

工學博士 クラインローゲル

以下譯出するところは獨逸に於けるコンクリート雑誌の權威“Feton und Eisen”第30巻第20冊に所載された同雑誌主筆工學博士アー・クラインローゲル氏の論文を全譯である。混泥土施工の合理化が漸く盛に提唱されてゐる今日、混泥土施工の革命的機械と云ふも決して過言でない混泥土ポンプの實驗成績を紹介するのは、意義尠からざるものあると思はれる。

周知のギーゼ・ヘル式混泥土ポンプが實際に^(註)使用され始めてから、即ち最近の約2年間に、諸種の土木建築場で得た最高の成績は次の如くである——水平に敷かれた導管に依る最長輸送距離 200m(伯林市スターンストルフに於ける市設淨水場、請負人伯林市 F. W. & H. Foerster 會社)、垂直に建てた導管に依る最高輸送距離 45m(伯林市アレキサンダー廣場の高層建築ペロリーナ、請負人伯林市 Ways & Freytag 株式會社)。ポンプの能率は、セメント及び骨材の性質に依り、またコンクリートの配合に應じ、毎時 7—12m³の間を往來してゐる。1日(8時間作業として)の平均能率は 60—70m³と見積つてよい。併し諸種の工事において24時間乃至それ以上間斷なく運轉した例もある。このポンプを以て輸送したコンクリートの總量は現在までに約150000m³に達してゐる。

土木建築界に現れる新機械にあつては常にさうであるが、機械の使命が原理として既に問題はないと見做されてゐるに拘らず、各現場の色んな要求により、絶えず新しい難關に打つかり之を征服してゆかねばならない、といふことは混泥土ポンプに於いても同様であつた。中でも特に問題となつたのは骨材の差違である、これは與へられた配合又は仕分によつて達しうべき配合に、またその時々に応じた水セメント比に特別な關係を持つ。更に如何なる種類のセメントを使ふかといふことも決して等閑視できないといふ事が明になつた。要するに、摩擦なく而も經濟的にゆく材

料輸送の達成は、紋切型ではゆかない。雜多な事情を考慮に入れそれに制限されねばならない。

混泥土ポンプを有効に使用するに當つて何よりも大切な認定は、モルタルの流れが比較的重い粗骨材を運ぶ様に配合されたコンクリート混合のみが文句なしにポンプされるといふ認識に盡きる。粗骨材(砂利、碎石等)は或程度までモルタルの中で“浮か”ねばならない、また混合はその骨材配合において充分に水を含み結んでゐる様に作られねばならない。材料の全部が粘り氣のある流動體でなければならぬ、即ち分解したり解離したりする傾向を示すことのない充分な內的結合(凝集體)を持たなければならぬ。

砂利や碎石の中には、水を“受けつけるのを喜ばない”種類のもので澤山あるといふ事は、一般に知られてゐる。練臺の上で混合するに當り、何等シヨベルで攪拌しても、水又はセメント液が“散歩”しやうとする。この喜ばしくない傾向は、以前にも述べたやうに、モルタルの量を多くするため即ちモルタルに“もつと肉を付け”るため砂を増してやるといふ意味で、砂對砂利の配合比を改良するとき、初めて變化するものである。砂の量が増せば水の量も幾らか増さねばならない、その代り砂は一層よく水を含むこととなる。かくて砂は材料の流れをより柔軟ならしめ粗骨材をより良く運ばしめ、以て此の機械の機能により適合することとなる。

混泥土ポンプ及びそれに應じたコンクリー

ト混合の配合並に輸送は、各特種な性質を持つものであるが、この機械に流込みコンクリートの發達した跡を辿つてみよう。この流込み式にも、特種な使用法則があつて、この法則の實施は從來のコンクリート法則の色々な點ことに原則とまでされた點に矛盾するとまで見做されたものであるが、それでも次第に認められるに到つたものである。出来るだけ水の量を少くするといふ從來の鐵則が、流込み式の出現によつて破られたこと、及び流れの良いコンクリートはまた砂の量をも多くしなければならぬといふ事が認められた點を想起するだけで充分であらう。

或る意味では、混凝土ポンプに於ても同様な關係である。極く概括的に言つて、砂の量を増し水の量を増すと共にコンクリートの強度は低下するといふ事を我々はよく知つてゐる。この法則は砂の中に微細(1mm以下)な部分が多ければ多いほど適切である。然しながら、法則を或る程度まで犯してもコンクリートの品質を害ふことなく且つ得たる結果に

よつて當該建造物の安全度に適合するといふ事が證明される以上、多數の場合に當嵌るが故に従つて貴重である認識を、千遍一律にコンクリート施工の有らゆる實際の場合に應用し以て他の方法を禁止せんとするのは決して理性的だとは言へない。

砂の成分の問題特にコンクリート混合に於ける微細及び極微なる部分の成分の問題が混凝土ポンプ運轉の中心問題となつたといふのが事實なのである。混凝土ポンプ使用のコンクリートは或る程度までどろどろしてゐなければならぬ、材料全體が一種の“粘り氣”を持つやうにならなければならぬ、即ち充分に水を含み之に依つて粗骨材を平均して運び得る程度に、斯くして殆ど如何なる種類のコンクリートをも完全にスムーズにコンスタントに輸送し冒頭に記したやうな距離や高度に達せしめ得るのである。

“ポンプクリート混凝土”(Pumpkretbeton)の骨材配合に於いて、如何なる限界を顧慮し乃至持たなければならぬか、即ちコンクリ

(1) ギーセ・ヘル式混凝土ポンプの導管から混凝土が緊密に押出るところを示してゐる。



ートの品質に悪い影響を與ふることなく如何なる程度まで細砂を入れてよいかが問題である。尙ほ細砂は、一般的に言つて、1mm以下の粒子から成る極微な細砂は、如何なる種類のものであるべきか、といふ事が重要である。此處で何よりも先に注意して置きたいのは、混凝土ポンプにあつては1mm限界の意義が退場して0.2mm限界の意義が登場し、主として0—0.2mmの極微な細砂が混合材料に所要の輸送性を與へるといふ點である。この際セメントそれ自身が既に大きい役割を演ずるといふ事は容易に了解できる、即ちセメントといふ結合劑は大部分が0.2—0.24mm篩を通過するものであるから。ポルトランドセメント規格に據るときは、ポルトランドセメントは900目/cm²(篩目0.222mm)の篩の上に5重量%以上残つてはならない様に微細に碎かれてゐなければならぬ、即ちセメントは少くともその重量の95%までは上述の“極微なる部分”に屬するわけである。セメントの量が多ければ多い程、勿論微細な部分の量が多くなるのであるが、經濟的方面からの制限が、極く稀な場合を除けば、この簡單に見える解決法をおのづから禁止することになる。

川砂の中には良質な尖銳なものもあるが、その生成過程から又その採取方法から生憎此處に必要な極微な部分をほんの少ししか含んでゐない、即ち“補充”を要するものがある。混凝土ポンプに對すると同様な考慮から流込み式に於ても水化石灰、火山石灰、もしくは碎石粉の様な“潤滑劑”を充分に使ふ必要があるといふ點は既述の通りである。例へばスターデルマン氏もその流込み式コンクリートに關する有益なる著書^(註2)に於いて、“セメント及び水と共に細砂は種の中で潤滑劑となる、即ち細砂は材料の分離を防ぎ全混合物が良く流れるやうに働きかける”(7頁)、更に水化石灰(21頁)に關し次のやうに述べてゐる、水化石灰の良好なる影響は“この埃のやうに微細なる材料がポルトランドセメントに比し2/3し

か容積重量を持たず同一の濃度に對し水化石灰の重量單位はセメントの重量單位に比し $2\frac{1}{2}$ —3倍も水を含むことが出来るといふ事實から説明できる”。この最後の言葉の中に、混凝土ポンプにとつても意義ある特性が述べられてゐる——水化石灰の含水性即ち附加された水を受入れ強く保持してコンクリートをより粘り氣あるものとなす能力である。進んで(22頁)スターデルマン氏は述べてゐる、一定の配合のコンクリートに水の量を増すといふだけでもコンクリートの流れを良いものとするにはするが、豫定される様にそのプラスチックティー(可塑性と強度とは減する、しかし同一の(與へられたる)コンクリートに水の量を増すことなく水化石灰を加ふれば、流動性は若干減するが、その代りプラスチックティーと強度は増す。これこそ、即ちプラスチックティー、濃厚、粥狀の性質こそ、ポンプを以て輸送するコンクリートに必須なるものである。

言ふまでもなく、如何なる補充材料を使用すべきかといふ事は、或る限界内では孰れでもよい事になる。碎石粉狀の附加物(石灰粉、火山灰、ライオン砂粉、硅藻土、セリット、粘土、陶土)の有用なる性質に就いては、グラーフ教授^(註3)が再三述べてゐる。此處で問題となるのは、“洗滌して汚泥を除きうるもの”(Abschlaemmbares)^(註4)として表はされうる必須の微細なる部分を得ることである。既述の川砂にはこの“洗滌して汚泥を除きうるもの”が大抵の場合殆ど存しないから坑内から出た砂(Grubensand)を使用するに當つてもつと廣い可能性がある。この砂は概して比較的粗大なものであるに拘らず極微細な細砂を含み時には若干の粘土又は陶土をさへ含むもので、上述の意味でポンプ運轉にとり正に適合した誠に有難い“潤滑劑”なのである。

粘土又は陶土を附加することの有効及び害惡に關する文献は非常に廣汎なもので、その意見はまた極め相反してゐる^(註5)。しかし絶

對に確定せる事實は、粘度又は陶土が砂や砂利の表面を蔽ひ従つてセメントの結合力を低下せしむる場合には極めて不利であるといふ點である。更に意見の一致してゐるのは次の點である、粘土質の成分も僅少なパーセンテージならば、この添加物が獨立の形で現れる以上即ち砂を蔽ふことなく砂の中に微細に分配される以上^(註6)、問題とはならない。例へば此の問題に關する經驗に基いて獨逸鐵筋コンクリート委員會が目下作成中の新示方書の草案中に現れてゐる通りである、即ちこの草案の Teil A III § 7 Ziff.2e に次の様に言つてゐる。

“自然の發生 (Ziff.2a參照) に於いて又は碎石粉の中に於いて含まれうるやうな粘土、陶土及び同様な附加混合物。此等のもが骨材にくつつく時は特に害がある。しかし少量 (砂の約3%まで) が骨材の粒子にくつつくことなく砂の中に微細に分たれてゐるならば、概して害のないものである。”

往々全然異つた目的に供せられる微粉狀の粘土及びそれに類した附加物に關し有利な證明を與へてゐる文献が尙ほ多數にある。例へばモエルシエ氏がその著 “Eisenbeton” 1.Bd., I. Haelfte, 6. Aufl., S. 30 に於いて次の様に説いてゐるのを想起するに止めやう。

“砂及び砂利に堅く附加した粘土はコンクリートの強度に害を及ぼす。しかし粘土及び陶土が砂の中に微細に分たれてゐるならば、通例何等害のないのみならず、却つて強度を増すものである”。

更に興味あるのは、最近の著書 “Unterwasser gussbeton”^(註7) の記事である。即ちコンクリート混合物に、より大なるプラスチックター^(註8) と含水性を得るといふ同一の理由から4—9%の粘土を含ませたのである、下水工事に於いてこそ粘土の結合力が特に重要視されるから。

最後に、如何なるセメントを使ふかといふ事も等閑視できないといふ點を述べなければ

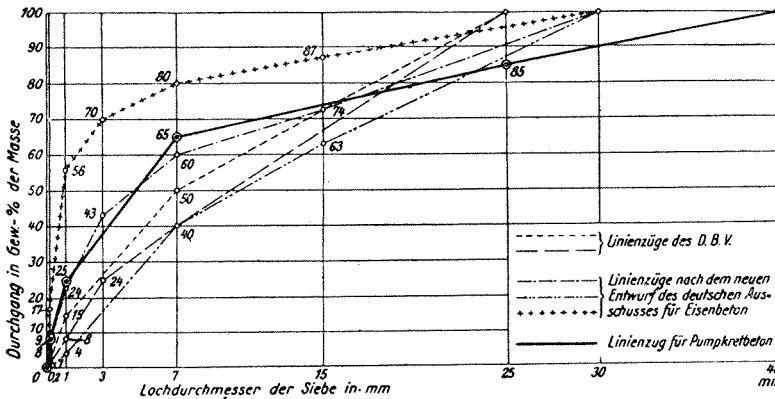
ならない。セメントの中には“短い”のや“長い”のがある——更にまた、特に微細な骨材を使用する心配の全然ないほど、どろどろした粘り氣のあるセメントもある。ちよつとした豫備試験で、大體使用するに決つたセメント及び砂の資格を直ちに明にする事が出来る。篩分は此處に於いても失敗を豫防する確實な方法である。

次の挿圖の太い線はポンプクリートの骨材配合に關し從來の經驗に徴して得た結果である。勿論これは、大體の配合 (水セメントを除く) は如何にすべきかといふ様な概略の根據を與へたに過ぎない。これまでに解明してきた議論に應じて、砂及び細砂の量に關する線は、獨逸コンクリート協會 (DBV) の主旨の中で特に良い配合と言はれてゐるもの若干上を行く。しかしまた獨逸鐵筋コンクリート委員會 (DAfE) の新示方に關する草案の中に示された諸線よりは大體下方を行く。此處に、此圖に關し注意すべきは、DBV 線が25mmの篩目でDAfE線が30mmで終つてゐるに反し、ポンプコンクリート線は40mmに及ぶといふ事である。

1m³のコンクリートに對し300kgのセメントを含む普通の鐵筋コンクリートに於いて、この300kgは全量 (水を除く) の15重量%に當る。次にこのセメント以外に約8—10%の微細乃至極微な部分があるので、結局混合材料中には0—0,2mmの粒子が大約25%含まれてゐるわけである。圖中の太い線は結合劑 (水及びセメント) を除く配合に當てはまるもので、0,2mmの横線に於いて8%の割當を大體根據として示してゐるのである。

挿圖第(1)は導管からコンクリートが緊密に出るところを示し、挿圖第(2)はギーゼ・ヘル式混凝土ポンプの外観を示してゐる。

ギーゼ・ヘル式混凝土ポンプの實際的利用性の發達は、混合材料の粒子配合及びその水量に特別な注意を向けざるを得なかつたといふ事が、上述によつて明にされた、如何なる種



平均20%も高い強度を示した。この比較試験に表れた強度の差違は他にも色んな理由はあるが、主として此の現場で使つた樋卸し式コンクリートでは水セメント比 0,79—1 とせざるを得なかつたに反し、ポンプコンクリートでは $w = 0,59—0,74$

類のコンクリートでもポンプの使用に適するといふわけではなく、混合材料には微細及び極微なる成分を一定量を含むことによつて始めて得られる或程度の粘り氣がなければならぬといふ事が解つた。この一定量の細砂が使用すべき砂の中に最初から含まれてゐるならば兎も角、さうでない限り碎石粉、火山灰又は坑内砂などの形に於ける“潤滑劑”の附加によつて良好な結果を得るといふ事を従來の経験が教へてゐる。後者即ち坑内より得る砂にあつては、3%位までの僅少な粘土の存在は絶対に差支へないものである。但し大抵の場合1—2%の粘土の附加で既に充分なのである。尙ほ此の方法で輸送されたコンクリートの既述の性質として、導管の出口に於いて採つたコンクリートは、ミクサーからポンプに入れる前に採つたものに比し最小10% (17%に及ぶ) も高い強度を持つてゐる事が實證された。

抑々ポンプを使用したコンクリートは強度齊質性及び稠密性に於いて特に良好な成績を示してゐる。配合(セメント對骨材) 1:4,5—1:6 に於いて材齡 28 日の強度 (wb28) は、骨材粒子の組合せ及び使用セメントの種類に従つて、160—300kg/cm² を上下してゐる。興味ある事實は、例へば柏林市スターンスドルフの市設淨水場の工事場で行はれた比較試験である。即ち同一骨材、同一配合で得たポンプコンクリートは樋卸し式コンクリートに比し

で足りた事で、周知の通りこれはコンクリートの強度に對し特に重要な事實である。此の理由から、一定の強度を得んが爲には、ポンプコンクリートに在つては樋卸し式に比し少量のセメントを以て施工出来るといふ事も可能である。また耐水性の比較試験に於て樋卸し式コンクリートの供試體が平均 $4\frac{1}{2}$ Atm. で既に透水したに對し、ポンプコンクリートの供試體は 12 Atm. でも尙ほ完全に耐水性を保つた。

如上の新ポンプコンクリート、コンクリート輸送方法の長所、即ち主としてポンプコンクリートの齊質性、強度及び稠密性に並に簡單なる使用法及び運轉の經濟等に基く長所に比すれば、適當な骨材粒子組合せと共に應じた水セメント比の決定といふが如き比較的僅かな面倒さなどは、全然問題にならない。

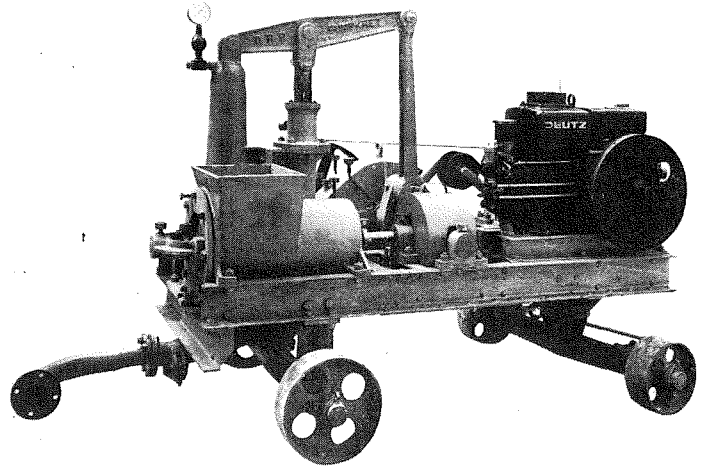
(註1) コンクリートポンプに關する一般的な指示的文献は、製作會社 Torkret G. m. b. H., Berlin Sw 68 の發行にかゝるカタログを除いては、従來下記のものがあるだけである——Bericht ueber die XX III. Hauptversammlung des Deutschen Beton-Vereins (E.V.) am 17. bis 19. maez 1930. Dr. Ing. Petry “Fortschritte im “Eisenbeton-Hochbau im Jahre 1929.” (Bericht S. 142 ff.).——“Z. d. VdI” 1931, Nr. 25, S. 795. Dipl. Ing. Hoffmann: “Die wirtschaftlichkeit der Betonpumpe”.

(註2) Gussbeton-Erfahrungen beim schweizerischen Tals erbau, 2. Aufl. Zurich 1916. Verlag "Hoch und Tiefbau" AG.

(註3) Die Druckfestigkeit von Zementmortel, Beton, Eisenbeton und Mauerwerk, S. 39. Stuttgart 1921 Verlag Konrad Witwer. — Versuche neber den Einfluss von Trasmehl und anderen Steinhleien auf die Zug- und Druckfestigkeit, Wasserdrucktaessigkeit sowie auf den Widerstand gegen chemische Angriffe des Zementmoertels. "Zement" 1923, S. 422. — Der Aufbau der Moertels und des Beton, 3. Aufl., S. 27. Berlin 1930.

(註4) H. Feilhaber: "Das Abschlammbar im Sand" "TIZ" 1931, Nr. 41, S. 603 ff.

(註5) 此處で特に擧げる價值のあるのは Gruen ("Zitrbl. d. Bauv." 1924, H. 1, S. 4) 及び H. Bach ("TIZ" 1926, S. 294 ff.) の實驗である。これ等の實驗は、モルタルに粘土を添加することの有利又は害悪を乾燥せる而して灼熱せる粘土を以てせる供試體で行ふ誤れる



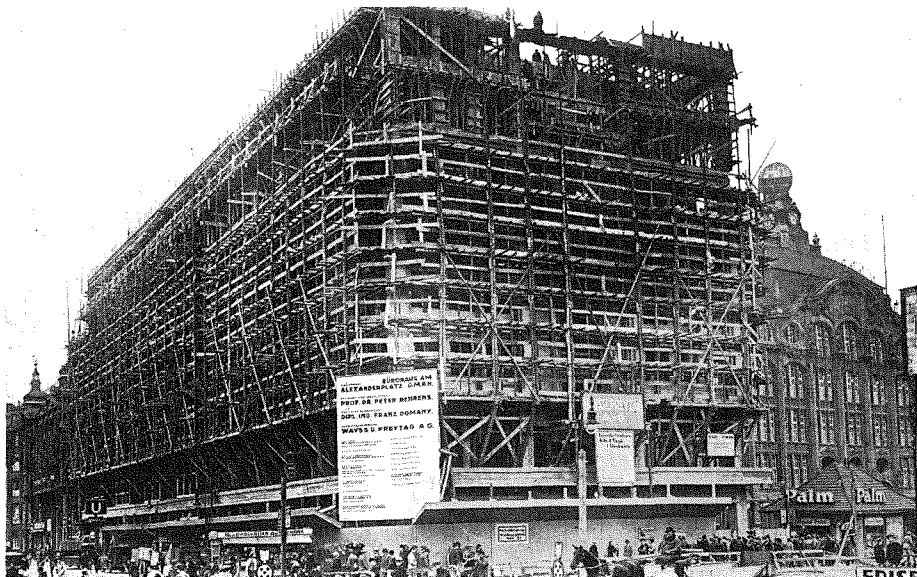
(第2圖) ギーゼ・ヘル式凝混土ポンプの外観

見解を排除した。試験は寧ろ自然に存するが如き、坑内の湿度と同様な状態に於ける粘土を以てしてはならない。

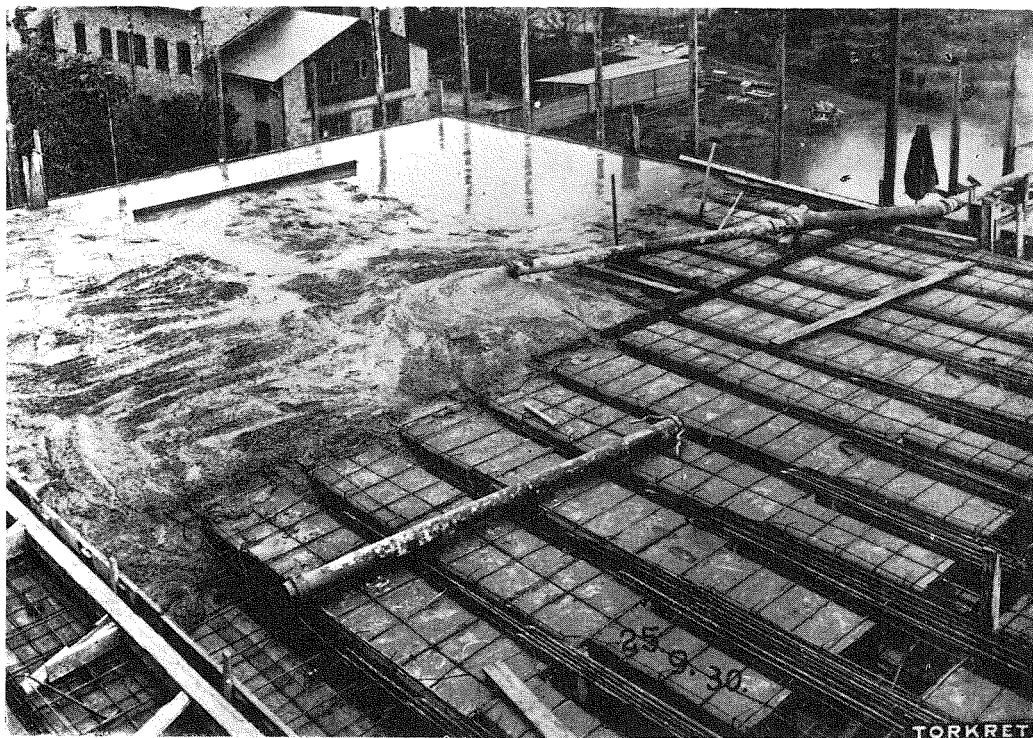
(註6) Graf: "Aufbau des Moertels und des Beton," 3. Aufl., S. 41

(註7) Oberregierungsrat Trier und Regierungsbaurat Toile: "Unterwassergussbeton." Berlin 1931. Wich. Ernst & Sohn (S. 28参照)

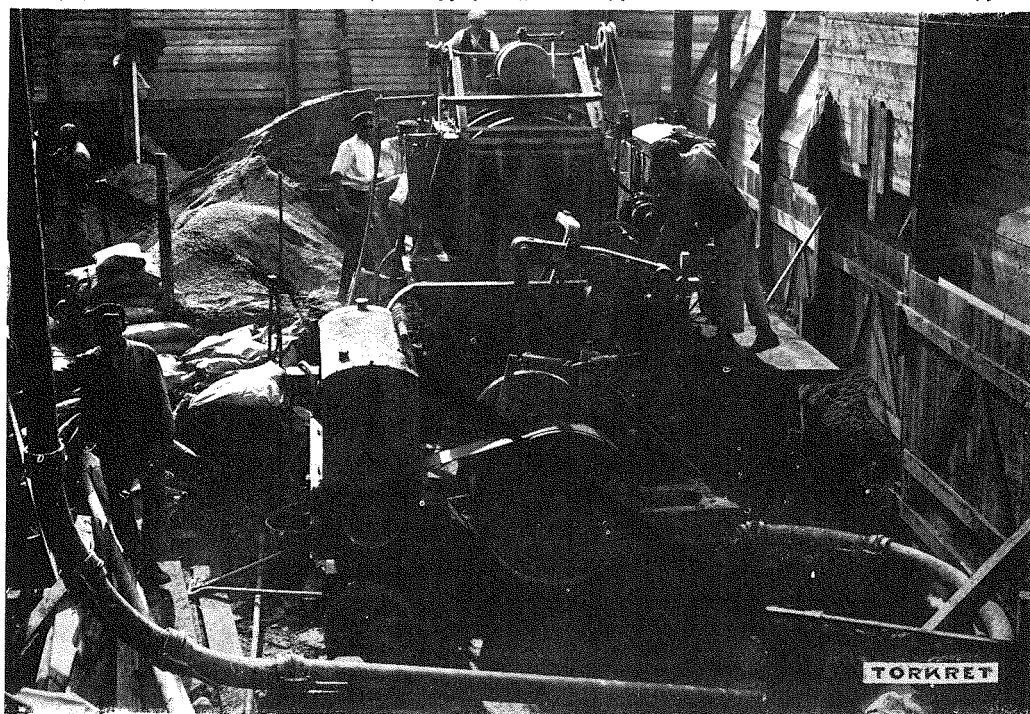
(註8) 此の言葉は"そのプラスシテイテイー"を損ふことなしには獨逸語に巧く翻譯は出来ない。



(3) (全部ポンプクリートで充填したビルディング) (地下二階から屋上まで高さ四十六米)



(4) コンクリートポンプによる屋上充填（遠い所から充填しはじめパイプを切つて短くしてゆく）



(5) コンクリートポンプ運転中（ミクサーのドラムから直ちにポンプのホッパーにうつされ、手前のパイプで處定の位置に送られる）