

今月は論文集第140号(42年4月発行) 登載論文としてつぎの3編を紹介いたします。今月紹介した論文に対する討議は、42年10月20日まで受け付けます。次号では第141号(42年5月発行) 登載予定論文として下記の6編を紹介する予定です。

- 佐藤亮典・川崎鉄一郎：アナログコンピューターによる橋梁下部構造の動的挙動の解析に関する研究
- 神月隆一：岩盤の中に埋設された内張鉄管が内圧を受けた場合の理論的・実験的研究
- 中川建治・成岡昌大：変形法とReduction法との相互関係について
- 荻原国宏：開水路中のスルースゲートの振動に関する基礎的研究
- 森 忠次・星 仰：ダム の精密三角測量における誤差の検討
- 松尾 稔・久我 昂・前川行正：砂柱を含む粘土の力学的性質に関する研究

接触圧による地盤内弾性応力

長谷川 高士

地盤上に構築される構造物や、構造物基礎地盤の応力解析は相互の影響を考慮して、接触問題として取り扱わねばならない。

このような接触問題の研究は古くから多くの研究者によって行なわれており、これらの結果を利用して各種の土木構造物の応力解析も行なわれている。しかし、接触問題の解法は一般的にいて複雑であるため、多くのすぐれた研究も個々のかざられた場合におわっている例が多い。

そこで、ここでは接触圧によって生じる地盤内応力にのみ注目し、その基本的特性を明らかにすることを試みた。地盤内応力にかんする最近の研究は、主として実際の地盤に認められる特性の影響を明らかにする研究が多く、その際接触圧を簡単な荷重でおきかえている場合が多い。ここでは接触という条件を主眼に考えることとし、地盤は理想弾性体としている。解法は複素応力関数論による2次元弾性接触の理論を適用した。

まず、構造物～地盤系の単純化によって求まる弾性論の厳密解を導びき、これによって接触圧による地盤内応力の実用解とすることを考えた。系の単純化は、二つの弾性半平面が有限区間で接触している状態を考えるものとし、荷重は外力の合力の x, y 成分 T, P と外力によるモーメント M を考慮した。

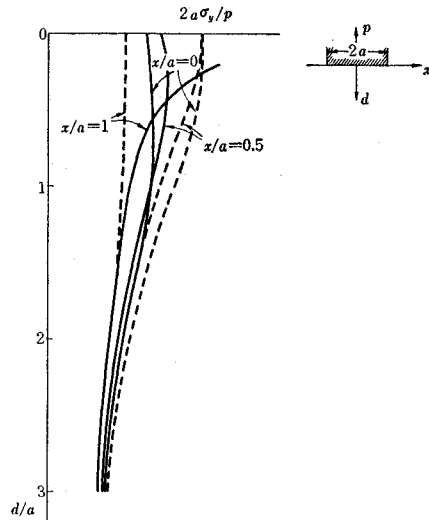
結果については、地盤内応力成分 σ_{ij} につき

$$2a\sigma_{ij} = J_k T - J_k' P$$

$$a^2\sigma_{ij} = J_k'' M$$

なる表示をし、構造物と地盤の弾性係数比で定まる係数 $J_k \dots$ を求め、その一部を図-1に示した。

図-1 地盤内垂直応力分布 ($T=M=0, \beta=0$)



つぎに、任意の構造物と地盤との接触を考慮するにあたり、接触境界における応力と変形の関係を求めた。この関係は構造物の応力解析において、接触面の境界条件となるものである。ここでは、これを用いて実用上有効な近似解が成立するための条件式として、外力の成分と接触面の変形をあらわす多項式の係数間に成立すべき関係を示した。

また、これらの式を用いて接触応力や地盤内応力の性質について若干の理論的考察を行なった。

(1966.7.11・受付)

[筆者：正会員 京都大学農学部]

サイクルキュー モデルによるしゅんせつ船団計画に関する研究

—サービス時間がアーラン分布に従う場合—

竹内 益雄

港湾または航路のしゅんせつ工事では、ポンプ式しゅんせつ船が使用されることが非常に多い。しかしサンドポンプの排送距離はせいぜい最大 5~6 km である。最近特に土砂輸送距離の長くなる傾向があるが、これに対処するためにはしゅんせつ船・押船・土運船による船団を構成して施工にあたるのが有利とされている。この工法においては各作業船の組み合わせをどうするかがきわめて重要である。本研究ではこの問題を究明すべく備讃瀬戸航路しゅんせつ工事を例にとり、最適しゅんせつ船団計画の策定ならびにその時の稼働率、施工量の算定

を科学的に行なうためのモデルを策定したものである。ただし、ここでいう最適しゅんせつ船団とは、単位時間においてしゅんせつ土量 1 m^3 あたりの各作業船の遊休による総損失費用を最小にするしゅんせつ船団と定義した。また遊休時間とはサイクルキューから必然的に生じる待ち時間、休止時間とは天候・故障等によって偶発的に生じる待ち時間と定義した。

いま一般的に考えて、それぞれ能力の等しいしゅんせつ船が M 隻、押船が A 隻、土運船が N 隻いるものとし、しゅんせつ船団の動態を図式化すると 図-1 のように有限母集団のサイクルキューモデルの問題となる。

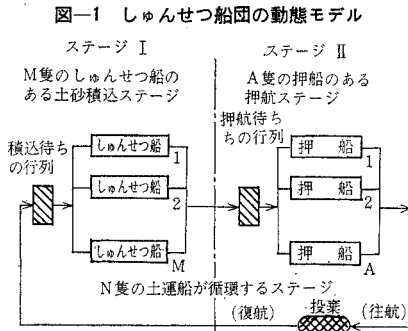


図-1 しゅんせつ船団の動態モデル

備讃瀬戸航路しゅんせつ工事におけるしゅんせつ船団の動態分析を行なった結果、しゅんせつ船のサービス時間は平均値 $1/\mu_1$ 、相 k_1 のアーラン分布に、押船のサービス時間は平均値 $1/\mu_2$ 、相 k_2 のアーラン分布に従うと仮定してさしつかえないことがわかった。一例として

図-2 しゅんせつ船のサービス時間の確率分布およびアーラン分布

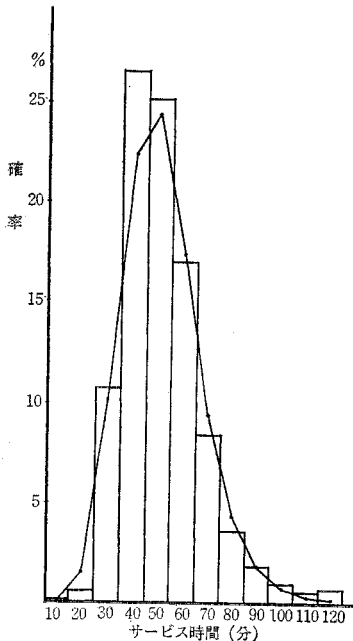


図-2 にしゅんせつ船のサービス時間を示す。

このシステムを $[M, A, N]$ とし、ステージ I, II, において土運船は先着順にサービスを受けるものとする。ステージ I, II の土運船の隻数を $n_1, N-n_1$ としたときの状態確率を $P(n_1, N-n_1)$ として状態方程式を求め、 H_i ($i=I, II$) をステージ i においてサービスを受けている(サービスをしている)作業船の隻数とすると、

$$H_I = \sum_{n_1=0}^{M-1} n_1 P(n_1, N-n_1) + M \sum_{n_1=M}^{N-A} P(n_1, N-n_1) + M \sum_{n_1=N-A+1}^N P(n_1, N-n_1) \dots (1)$$

$$H_{II} = A \sum_{n_1=0}^{M-1} P(n_1, N-n_1) + A \sum_{n_1=M}^{N-A} P(n_1, N-n_1) + \sum_{n_1=N-A+1}^N (N-n_1) P(n_1, N-n_1) \dots (2)$$

となる。

一般に定常状態においては、アーラン分布の各仮想窓口にいる土運船の隻数は等しくなるので、式(1), (2) は $M, A, N, 1/\mu_1, 1/\mu_2$ の関数として表わされる。

また、しゅんせつ船・押船・土運船の稼働率は

$$U_M = H_I / M, U_A = H_{II} / A, U_N = (H_I + H_{II}) / N \dots (3)$$

となる。

本研究の最適船団計画の定義にもとづいて目的関数を定めればつぎのようになる。

$$C = \frac{C_M(M-H_I) + C_A(A-H_{II})}{Q} + \frac{C_N(N-H_I-H_{II})}{Q} \dots (4)$$

ここに、 C_M, C_A, C_N はしゅんせつ船、押船、土運船の運転一時休止中の損失費用、 Q は1日あたりの施工量でつぎのように表わされる。

$$Q = r \cdot R \cdot H_I \cdot \mu_1 \dots (5)$$

ここに、 r はしゅんせつ船のしゅんせつ時間と運転時間の比、 R は1回あたりの土運船への積込み土量を表わす。

したがって最適船団計画の策定を行なう場合、式(4)の C の値を最小にする船団を求めればよいことになり、その時の稼働率、施工量も同様に求めることができる。

つぎにこのモデルが現実の施工状況を十分再現しているかどうかを確かめるため、備讃瀬戸航路しゅんせつ工事を例にとって実証的研究を行なった。

また、このモデルを将来の工事計画に役立てるべく、このモデルに種々の条件を与えて計算し、計画図表の作成化をはかった。

(1966.4.4・受付)

[筆者：正会員 臨海土木工業所常務取締役技術部長]

港湾工事におけるプレパッド コンクリートの施工管理に関する基礎研究

赤塚 雄三

プレパッド コンクリートは従来は主としてマッシュな無筋コンクリートを主とする単塊構造のコンクリート(防波堤堤体や重力式岸壁壁体など)やケーソンやセラー ブロックの中詰めコンクリート等に用いたものが大部分であったが、最近では重要度の高い鉄筋コンクリート構造物の水中施工に用いた例も次第に増加している。たとえば、ケーソン、ウエル、L型ブロック等の特に重要な港湾構造物の水中施工例も少なくない。いずれの場合も、安全で経済的な構造物を得るためにはプレパッド コンクリートの設計や施工方法の合理化を必要とすることは明らかである。しかし、プレパッド コンクリートの施工方法は普通コンクリートのそれと著しく異なり、品質評価の基準や管理要因と品質との関係等について不明の点が多く、普通コンクリートの設計および施工管理の方法をそのままプレパッド コンクリートに適用することには問題があり、また、これに代る適切な方法も見出されていないのが現状である。

本研究は上述の観点から、プレパッド コンクリートの施工管理の方法を見出すことを目的として行なったもので、基礎的な実験と施工例の調査および現場実験を実施して、プレパッド コンクリートの品質の試験と評価の基準、管理すべき要因、材料の品質標準とその管理限界、施工の工程標準、効果的な事前管理の方法等について検討した。主な成果をを要約するとつぎのとおりである。

1. プレパッド コンクリートの品質評価の基準

プレパッド コンクリートの施工方法は普通コンクリートのそれとは著しく相違するが、圧縮強度と他の弾性的諸性質との関係および施工方法と類似した方法で製作した標準供試体の圧縮強度と構造物母材の圧縮強度もしくは曲げ圧縮強度との関係は、従来普通コンクリートについて確認されている諸関係と同等であることが確かめられた。また、従来施工現場等で用いられている供試体の製作方法を基本的な5通りの方法に分類し、その比較試験を行なった結果、いずれの方法も同一の材料と配合に対してはほぼ同等の強度を与えるが、ある種の方法は供試体の製作のために特殊な型わくと注入設備を必要として現場の作業性を欠き、他の2方法は施工方法との相似性が乏しく、標準方法としては不相当であること、残りの2方法は試験値の分散の程度、再現性、個人差等の点でも同等の結果を与えるが、そのうちつぎに述べる

方法が、製作作業の単純性の点で優れており、したがって標準方法として最も適当であると判断された。すなわち、鋼製型わくの中央に内径 12 mm 程度の注入管を建て、その周囲に粗骨材をつめ水を満たし、通水気孔を設けた上ぶたを取り付け、適当な金具でこれを型わく側板と緊結した後、注入管の先端からモルタルを自重により流下注入し、上ぶたの通水気孔から注入前と同程度のモルタルが越流するのを確かめ、注入管を徐々に引き上げて注入を終える方法である。したがって、実際の施工方法と類似した上述の方法で製作した標準供試体の圧縮強度を用いて構造物母材の品質を評価するのは適当と思われる。

2. プレパッド コンクリートの強度の変動要因と割増し係数

プレパッド コンクリートの強度の変動は主としてモルタルの材料の品質、配合比、練りませ条件等に起因するもので、これらの要因の管理状態に応じて、一般に普通コンクリートの場合とほぼ同等の変動係数を期待することができる。この種の変動とは別に、モルタルの品質が一定の場合でも事後注入等の表面処理を行なわないうときには、注入した部材の表層付近の強度が一般に減少する傾向が認められた。これは、打込み後のコンクリートの品質変化を考慮する必要のない普通コンクリートと著しく相違する点で、モルタル注入後の材料分離の影響によるものであり、強度減少の限界は標準供試体強度の85%程度と推定される。したがって、プレパッド コンクリートの強度の許容限界として普通コンクリートと同等の値を適用するためには、変動係数が同一の場合には、普通コンクリートに対するよりも18%程度大きい値の割増し係数を用いて、その設計基準強度を割増す必要がある。

3. 配合設計の基本条件

プレパッド コンクリートの配合設計の基本条件は所要の強度と注入に適した流動性が得られる範囲内で水結合材比 $W/(C+F)$ と単位水量が最小となるように、フライアッシュ混和率 $F/(C+F)$ および砂セメント比 $S/(C+F)$ を定めることと思われ、この点に関してつぎの関係が確かめられた。

注入モルタルの流動性と材料分離の傾向は $W/(C+F)$ にほぼ直線的に比例し、プレパッド コンクリートの強度は結合材水比 $(C+F)/W$ に直線的に比例する。

モルタルの流動性と $S/(C+F)$ を一定とする場合は、材料分離の傾向はほぼ一定となり、1~4週強度は $F/(C+F)=10\%$ の増加について約10%の割合で減少するが、13週強度は $F/(C+F)=20\sim30\%$ で最大となり

フライアッシュを混入しない配合の 110% 程度に達する。また、注入モルタルの単位水量は $F/(C+F)=10\%$ の増加について 10 kg/m^3 程度の割合で減少する。

モルタルの流動性と $F/(C+F)$ が一定の場合には、所要の $W/(C+F)$ は $S/(C+F)$ にほぼ直線的に比例するが、単位水量は $S/(C+F)=1.0\sim 2.0$ の範囲ではほぼ一定で最小に近い値となる。

4. 材料の品質変動の影響と品質標準

材料の品質はそれぞれの条件に応じて注入モルタルの品質に影響するので、適当な品質標準を設けて管理する必要がある。

セメントとフライアッシュの品質変動は、一定の材料を使用する場合には 3% 以下と推定され、これがモルタルとコンクリートの品質におよぼす影響は 2 次的なものとなる。

減水剤がモルタルの諸性質におよぼす影響はその種類と使用量、モルタル材料の種類と性質およびモルタルの配合等によってかなり変化し、普通コンクリートには有効であってもモルタルには効果の疑わしいものが多い。たとえば、試験した 6 種の減水剤のうち、安定した減水効果をもつものは陰イオン系界面活性剤を主剤とするもの一種だけであった。したがって、減水剤は施工用材料と配合のモルタルを用いてその効果を確認することが重要である。

ガス発生剤としてのうるこ状アルミニウム粉末の膨張効果はその品質と使用量によって変化し、安定した膨張効果を期待するためには、純度 99% 以上、油脂分含有量 2% 程度および粉末度有効径 15μ 以下の品質標準を設けるのが望ましい。品質が上述の規準に達しない場合には所要の膨張量が得られるように使用量を調整することが必要である。

従来一般に用いられている粒度範囲の砂、すなわち、 2.5 mm ふるいを 100% 通過し、 0.15 mm ふるいに 70% 程度以上留まるような粒度の砂を用いて、モルタルの流動性を一定とする場合には、所要の $W/(C+F)$ は砂の粗粒率の増加に応じてほぼ直線的に減少し、その割合は $FM=0.1$ について $W/(C+F)=1\%$ 程度である。 2.5 mm ふるいを用いてあらかじめふるい分けた砂の施工現場における粗粒率の変動は比較的少なく、3% 程度であって、品質管理上良好な結果が期待できる。したがって、粗粒率の管理限界としては、(平均値 ± 0.1) 程度が実際の値と思われる。

5. 計量誤差と砂の表面水の影響

現場におけるプレパックドコンクリートの強度変動の最大の要因は計量誤差と砂の表面水の不正確な補正と

考えられ、これらを適当な限界内に留めるより管理することがきわめて重要である。

自動計量装置を備えたパッチャープラントについての調査結果によれば、計量誤差は最大 2.5% 程度に達するものと推定され、これによる配合比の変化は原配合比の 5% 程度以内である。砂の表面水の補正が不正確な場合には、その悪影響は主として水結合材比の増加として表われ、条件の最も悪い場合には計量誤差の影響も含めて $W/(C+F)=7\sim 8\%$ 程度に達するものと推定される。

6. 練りませ条件の影響

練りませ時のモルタル温度、保存温度、練りませ速度、練りませ時間、等の諸条件は注入モルタルの流動性、ブリージング率、膨張率等の諸性質にかなり影響し、その程度はミキサの構造と練りませ容量およびモルタルの配合によって変化する。

一般に高速練りませは所要水量の減少と練りませ時間の短縮に効果的であるが、これが長時間にわたる場合はモルタルの温度上昇をとめない、流動性や膨張効果の減少をもたらすため有害であり、ゆるやかなかくはんに移れる構造とするか、適当なアジテーターを併設することが必要である。また、適当な混和剤の使用は練りませ条件の変化にともなう流動性や膨張率の変動の減少に効果的である。したがって、均一な品質のモルタルを効果的に得るためには、施工条件に応じて、ミキサの構造や練りませ方法等について検討する必要がある。

7. 適正な注入速度

注入速度が過大の場合には、モルタルの自由界面が著しく凸状となり、粗骨材を局部的に押上げて打上り面を不整にするだけでなく、自由界面に沿ってモルタルが希釈し、また隣接した凸状部の間にモルタルの注入が不完全な部分を形成する原因となる。適正な注入速度は自由界面がほぼ水平な形を保って上昇する範囲内で最大となる条件によって決まるが、自由界面の形状はモルタルの流動性、粗骨材の有効径と空げき率、注入面積、注入後の経過時間等によっても変化する。したがって、注入速度は施工条件に応じてこれを慎重に定める必要がある。

8. 粗骨材の管理限界

モルタルの完全注入を計るためには粗骨材を 15 mm もしくは以上の寸法のふるいでふるい分け、この寸法以下の粗骨材量を適当な限界以下に留めることが重要である。施工現場における調査結果は、最小寸法を 15 mm とする場合には、これ以下の細粒の許容限界としては、

どの試験値についても5%以下とするのが適切なことを示している。モルタルの注入実績から推定した粗骨材の空げき率を粗骨材試料の試験による空げき率とともに管理することは、モルタル注入状態の間接的管理方法として有効である。一般にモルタル注入量より推定した空げき率は試料についての試験値より1~3%大きな値を示すが、両者の変動範囲はほぼ等しく、管理限界としては(平均値±3%)程度が適当と思われる。

9. 注入モルタルの品質管理の効果

注入モルタルの品質をその注入以前に管理することはプレパックドコンクリートの品質を事前に管理する機能をもつ。この事前管理のための特性値はモルタルの品質変動の要因について適当な識別性をもち、容易にかつ短時間に測定でき、さらに再現性に富む統計量でなければならぬ。このような特性値として流下時間を運び、2, 3の施工例に応用した結果、相当の管理効果をもつことが実証された。すなわち、材料の品質や工程作業等

についても十分に管理する場合にはプレパックドコンクリートの強度の変動係数は15%以下に留まり、流下時間のみを管理する場合でも20%以下となる。これは流下時間の管理によって、保水性、ブリージング率、膨張率等の変動が著しく減少し、モルタルの品質の均一性が著しく向上するためと思われる。事前管理の効果は試料採取の群分けや管理限界の設定の仕方によっても変化し、たとえば、前者については30minごと、後者については19±3sec程度が適当であり、また、管理限界を越えた場合の処置をあらかじめ定めて、変動に対して迅速に應ずることもきわめて大切である。

(1966.6.16・受付)

[筆者：正会員 運輸省港湾技術研究所]

【研究ノート】

曲線直交異方性扉平板の階差法による解析

奥村 勇

鹿島研究所出版会 専門分野別在庫目録

土木・都市・建設経営・施工管理

〈図書目録呈〉

新刊

- 土木の見積と工程管理
建設業経営選書第8回配本
佐用・山本共著 A5判 320頁 ¥980
- 駐車場の計画と設計
織本錦一郎監修 B5判 288頁 ¥2,500
- 現場技術者のための土質工学
最上武雄・福田秀夫 共編
B5判 390頁 ¥2,500

土木一般

- 土木年鑑1967.....¥3,500
- 道路と景観—景観工学への序説— ¥760
- 土地造成.....¥1,000
- 軟弱粘土の圧密
—新圧密理論とその応用— ¥750
- 鉄筋コンクリートの耐久性.....¥430
- アーチダム.....¥2,000
- 基礎反力の解法.....¥300

- 山口昇博士論文選集.....¥1,000
- 高速道路計画論.....¥2,400
- 都市住宅(SD臨時増刊).....¥500
- 建設機械手帳1967年版.....¥300
- トンネル施工の問題点と対策.....¥1,300

建設工学シリーズ

- 軟弱地盤における建築の
地下掘削工法.....¥590
- 井筒基礎.....¥450
- 簡易索道の計画と設計(重版出来)¥980
- 荷役・運搬の計画と設計.....¥1,200
- アースドリル基礎工法(重版出来).....¥600
- 構造物基礎の応力調整工法.....¥580
- 道路土工の調査から設計施工まで.....¥1,300
- シールド工法.....¥1,600
- 水底トンネル.....¥840
- 爆破—付ANFO爆薬—.....¥900

都市計画

- 都市問題事典.....¥3,500
- 新都市の計画.....¥2,500
- 都市の自動車交通.....¥4,800
- 新しい都市の未来像(重版出来).....¥920
- フランスの都市計画.....¥900
- 都市の新しい運輸計画.....¥750
- オランダの総合開発計画.....¥2,000
- 敷地計画の技法.....¥1,600

建設経営・施工管理

- 新しい工程管理(重版出来)
—PERT・CPMの理論と実際— ¥1,300
- 建設業成功の秘訣.....¥680
- 工事原価管理(重版出来).....¥650
- 新版ジョイント・ヴェンチュア ¥480
(重版出来) ¥1,500
- 国際ジョイント・ヴェンチュア
(重版出来) ¥1,500
- 工事入手から未収金回収まで ¥480
- 工事管理(重版出来).....¥800
- 創造工学による設計手順(重版出来) ¥700
- 創造工学による技術予測.....¥700
- 建設経営入門.....¥750

建設業経営選書<全13巻>

- 建築の施工計画.....¥750
- 建設業経営における
電子計算機の利用(重版出来) ¥700
- 建設請負の法律実務(重版出来) ¥700
- 建設業の経理(重版出来).....¥750
- 建築の施工管理.....¥750
- 建設業の原価管理.....¥750
- 建設業の企画と調査.....¥750

鹿島研究所出版会

■ 東京都港区赤坂六丁目5-13 電話(582)2251 振替東京180883