

セメント改良土の強度の早期材令からの予測（その2）

(株)竹中工務店 技術研究所 正会員 齊藤 聡
 (株)竹中工務店 技術研究所 正会員 馬場崎 亮一
 (株)竹中土木 技術本部 正会員 中間 哲志

1. はじめに

前報告¹⁾では、深層混合処理工法の室内配合試験において、セメント改良土の材令28日における一軸圧縮強さの概略値を早期材令の強度から予測するために、標準・促進養生試験結果とマチュリティー式を用いた強度予測方法を提案した。本報告では、前回提案したマチュリティー式の見直し、材令1日の促進養生からの所定材令強度を予測する方法、マチュリティー式を用いた強度予測の様々な工法への適用の可能性、について検討したのでこれを報告する。

2. 提案した方法と修正式

前報告¹⁾で提案した早期材令からの強度予測方法は、標準養生と促進養生を材令 Tc=1~3 日行い、マチュリティー式(1)に基づく M を計算し、の試験結果から強度予測式(2)の a, b を決定した後、室温 20℃, 材令 28 日の M (=2³・28) を(2)の強度式に代入し、一軸圧縮強さの予測値 q_u を得るものであった。

$$M = 2^{\frac{t+10}{10}} \times Tc \quad \dots\dots (1)$$

$$q_u = a (\log M) + b \quad \dots\dots (2)$$

ここに、t: 養生温度 (℃)
 Tc: 材令 (日)
 a, b: 定数

しかし、提案した式が改良土の強度予測を行うのに最もフィッティングが良い近似式であったのか確認されていなかった。そこで、

$$M = A^{\frac{t+10}{t_a}} \times Tc \quad \dots\dots (3)$$

として、最も相関係数の大きな A や t_a を回帰分析によって検討した。回帰分析の方法は、

- 1) A または t_a の各 8 個のデータに対して、前報告¹⁾に示した土の種類、セメントの種類、セメント添加率の異なる 4 種類のデータ毎

に回帰分析を行い、a, b の係数を求めて強度予測式を決定し、強度予測式の相関係数 R を求める

- 2) 異なる 4 種類のデータの相関係数の平均を取り、最大の相関係数を持つ A、t_a を見いだす

である。表 - 2、3 に(3)式の回帰分析結果を示す。回帰分析の結果、A=2.1 または、t_a = 9 の場合がフィッティングの最も良い結果になった。ただし以後、(4)式を修正マチュリティー式として話を進める。

$$M = 2.1^{\frac{t+10}{10}} \times Tc \quad \dots\dots (4): \text{修正マチュリティー式}$$

3. 材令 1 日の促進養生からの強度予測

前報告では材令 1 ~ 3 日の標準・促進養生のデータを用いることを提案したが、今回は材令 1 日の促進養生データのみを用いて将来強度を予測する方法について述べる。修正マチュリティー式において、材令 28 日

表 - 2 (3)式で A = 2.0 とした場合の q_u 予測値の相関係数

| 土の種類 | セメントの種類 添加率 a _w (%) | 相関係数 R | | | | | | | |
|-------|-----------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | t _a | | | | | | | |
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 横浜港粘土 | Nセメント 20 | 0.927 | 0.953 | 0.966 | 0.971 | 0.971 | 0.966 | 0.960 | 0.952 |
| | Nセメント 30 | 0.962 | 0.979 | 0.984 | 0.982 | 0.975 | 0.966 | 0.954 | 0.942 |
| 大阪港粘土 | BBセメント 20 | 0.943 | 0.971 | 0.985 | 0.991 | 0.991 | 0.987 | 0.981 | 0.974 |
| | BBセメント 30 | 0.943 | 0.970 | 0.984 | 0.990 | 0.990 | 0.986 | 0.980 | 0.972 |
| 平均 | | 0.944 | 0.968 | 0.980 | 0.984 | 0.982 | 0.976 | 0.969 | 0.960 |

表 - 3 (3)式で t_a = 10 とした場合の q_u 予測値の相関係数

| 土の種類 | セメントの種類 添加率 a _w (%) | 相関係数 R | | | | | | | |
|-------|-----------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | A | | | | | | | |
| | | 1.8 | 1.9 | 2 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 |
| 横浜港粘土 | Nセメント 20 | 0.961 | 0.967 | 0.971 | 0.972 | 0.971 | 0.969 | 0.965 | 0.962 |
| | Nセメント 30 | 0.957 | 0.968 | 0.975 | 0.980 | 0.983 | 0.984 | 0.984 | 0.983 |
| 大阪港粘土 | BBセメント 20 | 0.983 | 0.988 | 0.991 | 0.992 | 0.991 | 0.988 | 0.985 | 0.980 |
| | BBセメント 30 | 0.981 | 0.987 | 0.990 | 0.991 | 0.990 | 0.987 | 0.984 | 0.979 |
| 平均 | | 0.970 | 0.978 | 0.982 | 0.984 | 0.983 | 0.982 | 0.979 | 0.976 |

($T_c=28$)、養生温度 20 ($t=20$) での M の値が、材令 1 日 ($T_c=1$) の M の値と等しくなる時の養生温度は 65 ($t=65$) であり、同様に材令 7 日、養生温度 20 と同じ M の値になる材令 1 日の養生温度は 46 ($t=46$) である。この様な促進養生による材令 1 日強度と標準養生による材令 28 日強度を直接比較したデータに関してはコンクリートや改良土の文献がある。コンクリートの文献²⁾によると、標準養生強度の 28 日材令強度に対する促進養生 1 日の強度の比は 55 の場合 40~70%、70 でも 50~80% である。一方、改良土の文献^{3),4)}によると、標準養生の 28 日材令強度に対する促進養生 1 日の強度の比は 55 の場合、40~130%、40 では 40~100% である。今、修正マチュリティー式(4)において、材令 1 日、養生温度 20 ~ 70 における一軸圧縮強さを計算し(用いた実験データは前報告¹⁾)、材令 1 日、養生温度 65 (材令 28 日、養生温度 20 とマチュリティーが同じ)における一軸圧縮強さととの比をとると、養生温度 55 では養生温度 65 の場合の 80% 程度に、70 では 110% 程度になる(表 - 3)。これら値は、コンクリートや改良土の文献に示された値と必ずしも一致しない。この原因は、用いた骨材・土の粒度、加温方法、前置き養生方法、セメントの種類、などの差異によるものと推察される。

4. マチュリティー式による強度予測の他工法への適用

本法は、深層混合処理工法の室内配合試験において任意の材令の改良土強度を促進養生で早期に予測できる。また、深層混合処理工法の室内配合試験や日常の品質管理に限らず、以下のような品質管理にも適用可能である。

流動化処理工法における現地での日常品質管理

流動化処理工法のように定置プラントに様々な土が搬入されてくる場合に、単に、フロ - によって品質管理をするのではなく、材令 1 日における促進養生強度で 28 日の強度を確認しながら施工を行う方が安心である。

掘削土再利用連続壁工法における現地での日常品質管理

この工法では対象地盤に対して事前に配合試験を行うことになっており、さらに日常管理としても強度試験(材令 28 日での強度試験)を行うことになっている。しかし、前者では、地盤が複雑な場合には強度発現に確信が持てないことも多いと考えられ、また、後者では結果が分かっても対処方法が採れない問題がある。この様なときに、前日にストックしている土を用いて促進養生試験を行い、促進養生強度の結果をみて、その日の配合を決定すれば確実な改良土が得られる。

深層混合処理工法における試験施工での品質管理

深層混合処理工法では配合試験に引き続いて試験施工を行なって強度確認をした上で、本工事に入る。しかし、試験工事 1 週間後に現地から改良土をサンプリングして強度確認をすると、施工機械に 1 週間もの待機期間が生じてしまう。この様な場合、試験施工直後に改良土をサンプリングし、促進試験を行い、促進養生強度にて強度確認を行えば待機期間などの無駄がない。

5. まとめ

本報では、任意の材令の改良土強度を促進養生により早期材令での予測が可能なること、特に材令 1 日、養生温度 65 の促進養生による改良土強度から、材令 28 日、養生温度 20 の改良土強度が得られることを明らかにした。また、本法を種々の工法に適用することで、品質管理の信頼性が向上することを提案した。今後は、改良土の促進養生による材令 1 日強度および標準養生による材令 28 日強度の室内、原位置のデータを蓄積し、本法の妥当性を実証して行きたい。

[参考文献]

- 1) 中間、中野、斉藤、馬場崎：セメント改良土の強度の早期材令からの予測，第 55 回年次学術講演会，2000
- 2) コンクリート品質の早期判定研究委員会：コンクリート品質の早期判定方法に関する概況，コンクリート工学，Vol.17，No.7，1979
- 3) 清田、中村、堤、太田、溝口：温水養生による改良土の早期強度推定方法に関する検討，第 34 回地盤工学研究発表会，pp.851-852，1999
- 4) 山田、福田：高温養生によるソイルセメントの早期強度推定の試み，第 30 回土質工学研究発表会，pp.2197-2198，1995

表 - 4 (4)式による q_u 予測値の回帰分析結果

| 養生温度 $t(^\circ)$ | M | Log(M) | 一軸圧縮強さの比 ^{注)} | | | |
|---------------------|--------|--------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | | | 横浜港粘土 | | 大阪港粘土 | |
| | | | Nセメント $a_w=20\%$ | Nセメント $a_w=30\%$ | BBセメント $a_w=20\%$ | BBセメント $a_w=30\%$ |
| 20 | 9.26 | 0.97 | 0.28 | 0.18 | 0.03 | 0.01 |
| 40 | 40.84 | 1.61 | 0.60 | 0.55 | 0.46 | 0.45 |
| 45 | 59.18 | 1.77 | 0.68 | 0.64 | 0.57 | 0.56 |
| 50 | 85.77 | 1.93 | 0.76 | 0.73 | 0.68 | 0.67 |
| 55 | 124.29 | 2.09 | 0.84 | 0.82 | 0.78 | 0.78 |
| 60 | 180.11 | 2.26 | 0.92 | 0.91 | 0.89 | 0.89 |
| 65 | 261.00 | 2.42 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 70 | 378.23 | 2.58 | 1.08 | 1.09 | 1.11 | 1.11 |

注) ($t=20\sim70$ 、 $T_c=1$ 日の q_u) / ($t=65$ 、 $T_c=1$ 日の q_u)