

論文

[1109] 針貫入を用いたコンクリート構造物の劣化診断について

斎藤裕*1・三浦尚*2・氏家久芳*3・KOOI KAM SIEW *4

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化度を精度良く把握することは重要であり、精度の良い劣化診断は経済性を考慮した合理的な設備の維持管理を可能とすることから、その技術の確立を目指し、関係各所で研究が進められている。また、耐久性向上に関する研究などが進み新材料や新工法などを用いた構造物が増えてくると、これらの効果の検証などを目的に、劣化診断の重要性はより一層高まるものと考ええる。

コンクリート構造物の劣化調査においては、先ず、目視による外観調査が実施され、クラックなどの調査が行われる。最近ではデータの一元管理を目指して、レーザーなどによる外観調査に関する研究も行われている。しかし、一方で、構造物に本来要求されている機能を考えると、必ずしも、クラックなどの発生が構造物の機能を低下させていない場合もあり、また、補修などの対策を行わずそのまま放置されるものもある。

したがって、劣化診断における指標の選択は非常に重要であり、診断対象となるコンクリート構造物に求められている機能を十分考慮した上で、適切な指標を選択する必要がある。

本研究では、コンクリート構造物の設計時にコンクリート強度が要求されるとともに構造物が抜本的な補修を余儀無くされる場合、その耐力（強度）の著しい低下が原因とされることが多いことなどにより、コンクリートの強度が劣化診断における重要な診断指標の一つであると考えた。

強度を推定する方法としては、コア採取による圧縮強度試験によるのが最も一般的で精度も良いとされているが、骨材寸法に応じてある程度大きな径のコアを採取する必要があり、構造物に損傷を与えてしまうことなどから、測定可能な範囲が限定されるのが現状である。

さらに、非破壊による推定方法が各種提案されているが、構造物の表面の情報から全体の劣化度を推定するものがほとんどで、構造物全体の耐力などを推定できる方法がないのが現状である。

特に、東北地方に多いとされる凍害劣化などの場合、構造物の表面から徐々に

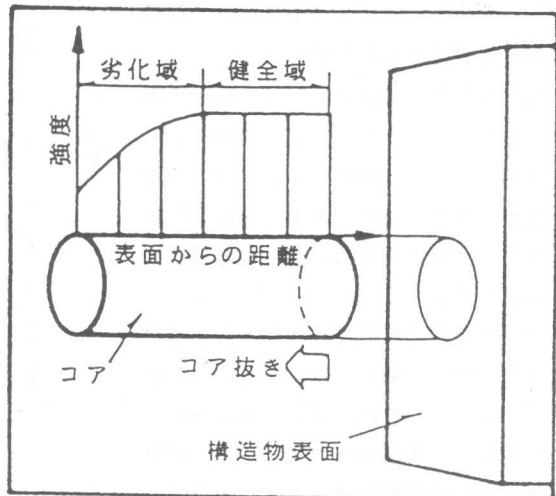


図-1 構造物表面からの深さによる劣化度の分布の概念図[1]

*1 東北電力㈱電力技術研究所土木研究室 (正会員)

*2 東北大学教授 工学部土木工学科、工博 (正会員)

*3 東北電力㈱電力技術研究所土木研究室長 (正会員)

*4 東北大学大学院 工学研究科 土木工学専攻

内部に進行していくとされており、図-1に示すように構造物の表面からの深さ方向に強度が変化するものと考えられる。これらの劣化診断を精度良く行うためには深さ方向の強度の変化を把握する必要がある。

したがって、本研究では構造物に与える損傷が少なく、できるだけ非破壊に近い形で構造物全体の劣化診断が行える方法の確立を目的とし、構造物から比較的径の小さなコアを採取し、深さ方向に強度推定を連続的に行う方法を考案した。

強度推定は図-2に示す電動一軸圧縮試験機を用いて小型のコンクリート試料に鋼製の針を貫入させ、そのときの荷重と貫入量の関係から圧縮強度を推定するものである[2]。針形状の違いが推定精度に及ぼす影響に関する実験を行い、その結果を踏まえ実構造物への適用を試みた。

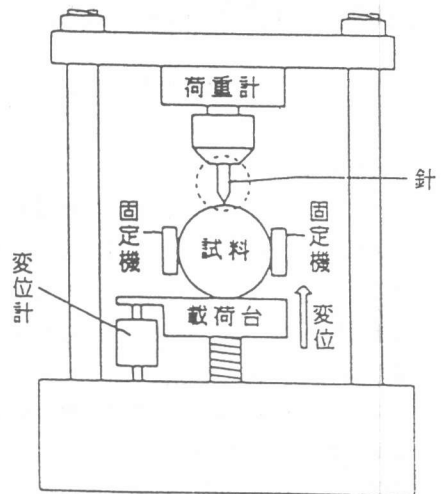


図-2 針貫入試験に用いた電動一軸圧縮試験機

2. 針貫入試験による圧縮強度の推定方法

本方法は小型の試料に鋼製の細い針を十分遅い速度 ($V=0.2\text{mm/min}$) で貫入させ、そのときの針の貫入量と荷重の変化を連続的に測定し、そのときの関係から圧縮強度を推定するものである。

針の貫入箇所は骨材の影響を避けモルタル部に行く。さらに、貫入箇所の材料の不均一性を取り除くため、一つの圧縮強度を推定するため、8ヶの試料を用い1試料について5箇所、合計40箇所の貫入試験を行う。

一回の貫入試験で図-3に示すような貫入量と荷重の関係が得られる。これを各回毎に2次曲線に回帰したのち全データの平均の2次曲線を算定する。この平均の2次曲線を用いて、ある一定の貫入量(例えば 0.2mm)までに要した仕事量

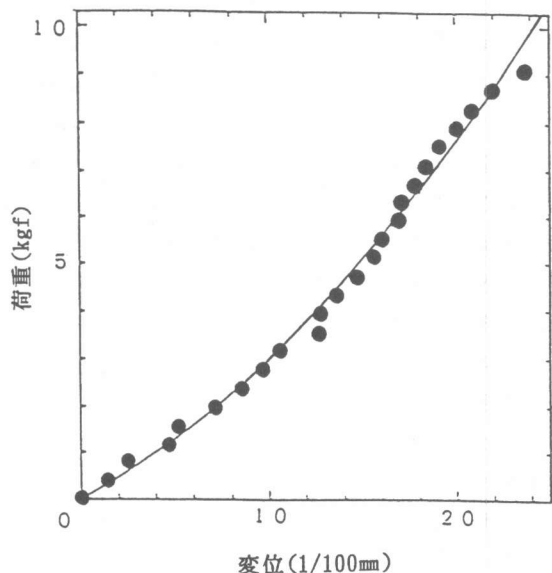
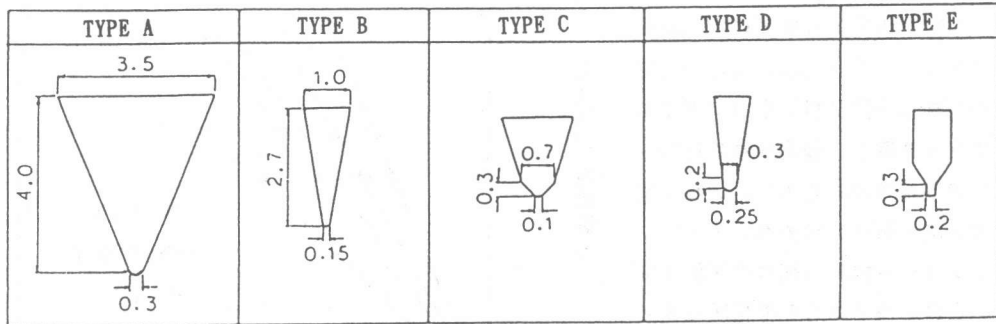


図-3 一回の貫入試験における測定データの例

(平均仕事)を算出し、あらかじめ室内実験により求めておいたコンクリート標準供試体による圧縮強度と平均仕事の関係(本論文では後述する図-6が該当する。)から圧縮強度を推定するものである。

室内実験においては、あらかじめ水セメント比などの配合により圧縮強度を変えたり、凍結融解試験により劣化させ圧縮強度を低下させたりしたコンクリート標準供試体を用いて、圧縮強度

と本方法による推定強度の相関を検討し、良い結果が得られており、モルタル部の測定を主体としてコンクリートの圧縮強度を推定する本方法は非常に高い実用化の可能性が得られている[3]。



単位：mm

図－４ 針の形状図

３．針の形状が推定精度に及ぼす影響

３．１ 実験概要

針の形状によって、推定精度が異なることが考えられることから、最適な針を今後の針貫入試験に用いることを目的とし、図－４に示す５種

表－１ コンクリートの配合表

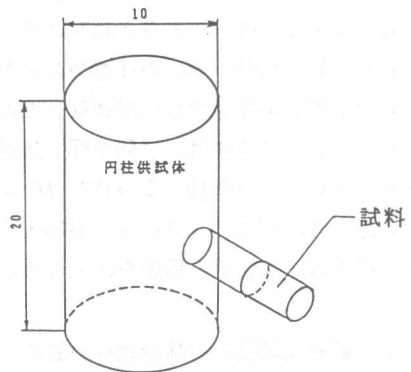
No.	Gmax	Slump	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit Content (kg/m ³)				
						W	C	S	G	Admix.
1	25	11	2	56	42	176	314	749	1170	---
2	25	11	2	46	40	175	383	689	1169	C×0.25%
3	25	11	2	36	38	174	489	622	1152	C×0.5%

類の針について比較検討を行った。針は形状の加工が容易で手軽に入手できるものを準備した。

TYPE Aはピンテスターという非破壊試験機用の針で、この試験機はバネを用い針をコンクリートに向け発射し、その時できた穴の深さの違いにより強度を推定するものであるが、推定誤差が大きく、また、針を発射するため、危険でもあることから、現在は、ほとんど使用されていない。しかし、その原理から、針は非常に耐久性の良いものである。TYPE Bは市販の鋼線で先端を加工したものであるが、数回の貫入試験で針の先端が曲がるなどしてしまい耐久性には問題がある。TYPE CおよびTYPE Dは市販の精密やすりの先端を加工したもので耐久性は良い。TYPE Eは鋼棒の先端を加工したもので耐久性は良い。

本検討では、表－１に示す配合で３種の異なる強度のコンクリート標準供試体を作製した。セメントは早強ポルトランドセメント、粗骨材は宮城県丸森産碎石（比重 2.85、吸水率 0.98%）、

単位：cm



図－５ 試料サンプリング概念図

細骨材は宮城県大和町産山砂（比重 2.53、吸水率 2.64%）を用いた。

それぞれの供試体から図-5に示すように円周方向に垂直に小型の試料（ここでは直径20mm、長さ20mm程度の円柱状小型試料）をコアドリルにて8ヶ採取し、提案されるTYPE A～Eの5種類の針を用い、針貫入試験で平均仕事 W を求めた。そして、コンクリート標準供試体の圧縮強度 σ_c との関係を求めその相関係数で比較検討を行い、最も相関の良い針を以後の試験に用いることとした。

3. 2 結果および考察

それぞれの針についての圧縮強度 σ_c と平均仕事 W の関係を図-6に示す。図から分かるように、いずれも相関が良く、TYPE A～D はいずれも相関係数は、0.99以上で、一番相関の悪いTYPE Eの針でも0.98以上の相関係数を示し、今回比較検討を実施した5種類の針は推定精度上は特に問題がないことが分かった。なお、TYPE Eの針が他の針に比較すると若干相関が悪いのは、針の先端形状が平に加工してあることから、ある程度荷重がかかってから貫入し始めたためと考える。

したがって、今後の針貫入試験に用いる針としては、TYPE A～Dの4種類の針が考えられるが、本試験では圧縮強度を推定するために、40回の貫入試験を行う必要があることから、耐久性も良いTYPE Aの針を用いることとした。

決定されたTYPE Aの針による平均仕事と圧縮強度の関係を図-7に示す。この図の回帰式を用い、以下の圧縮強度の推定を行うものとする。

4. 針貫入試験の実構造物への適用

4. 1 実構造物の調査方法

今回の調査は秋田県の鳥海山山麓に点在する水力発電所のコンクリート構造物を対象とした。

表-2に構造物の概要を示す。当該地点は冬期間最低気温が -5°C ～ -15°C 程度以下になるとともに構造物の経年が約50年～70年であることから、構造物は凍害劣化を受けているものと推測される。

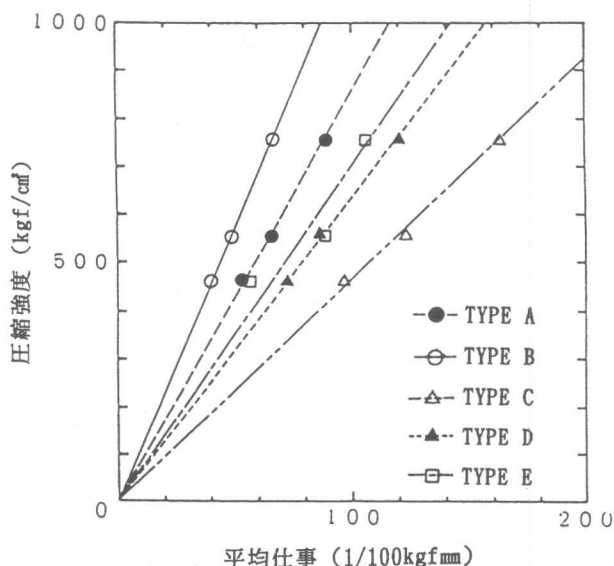


図-6 各針の平均仕事と圧縮強度の関係

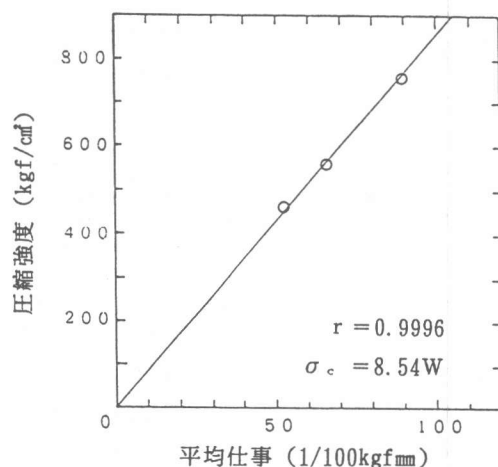


図-7 平均仕事と圧縮強度の関係

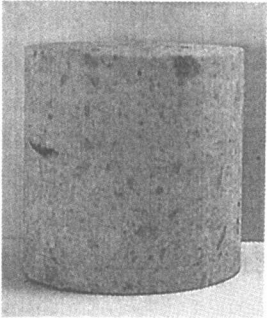
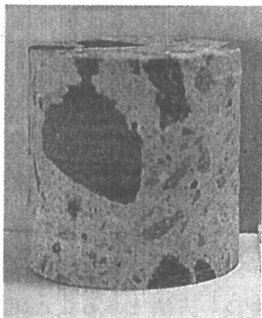
各構造物から形状などに応じて長さ約55cm～72cmのコアを採取した。さらに、採取コアの径を10cmとし、JIS A 1107に基づくコア採取による圧縮強度試験を実施できるものとした。

圧縮強度試験用コアは針貫入試験と同じく、深さ方向の圧縮強度の変化を把握できるように、コア供試体の高さは10cmとし、試験で得られた圧縮強度に所定の補正を行い高さ20cmのコア供試体の圧縮強度に換算している。表-3に圧縮強度試験用に整形したコア供試体の一例を示す。

表-2 構造物の概要

地点	構造物名	運開年月
A	取水口 制水門スラブ	S14. 7
B	水圧鉄管 固定台	S11. 12
C	水圧鉄管 固定台	T15. 12
D	ダム下流 護岸	S15. 12

表-3 圧縮強度試験用コア供試体の一例（D地点）

供試体 の 状 況			
表面からの深さ(m)	3～13	25～35	55～65
測定強度(kgf/cm ²)	219	243	305

4. 2 結果および考察

針貫入試験による推定強度と圧縮強度試験により求めた圧縮強度の結果を図-8に示す。針貫入試験の推定強度は当初推測していた通り、凍害劣化による影響と考えられる表面部の低下が確認できるとともに、各地点とも強度分布には大きなばらつきは見られなかった。

一方、コア採取による圧縮強度試験により求めた圧縮強度は非常にばらつきがでた。これは、やはり、粗骨材の径がコア供試体の直径に比べて大きかったり、構造物からコアを採取したときに、粗骨材とモルタル部との付着が幾分緩んでしまったりしていたためではないかと考えられる。

以下、各地点ごとに針貫入試験による推定強度について考察する。

A地点では、針貫入試験による推定強度は全体に高い値を示しているが、表面部は内部に比べ100kgf/cm²程度低下しており、これは、凍害劣化による影響と考えられる。また、B地点でも若干ではあるが、表面部の強度低下が確認できる。C地点については、やはり、表面部は強度が低下しているが深部で圧縮強度が増加している。これは、深部では配合が異なるためと考えられる。さらに、D地点では、表面部の強度は低下しているが、深部でも強度が低下している。これ

も配合が異なるためと考えられる。特に、D地点では採取した構造物が護岸であることから深部が貧配合であることが十分推測できる。

以上4地点について検討を行ったが、今回提案する針貫入試験はコンクリートの標準供試体の圧縮強度を精度良く推定することができる。そして、この方法を実構造物に適用した結果、凍害劣化の影響が確認でき、本手法の有効性が確認できた。また、今回比較の目的で採取コアによる圧縮強度試験を合わせて実施したが、コアの径が10cmであったことなどから、骨材寸法や品質などの影響を受け非常

にばらつきが多い結果となった。両者の結果を比較すると、今回提案した針貫入試験は採取コアの径も小さくてすむ方法であり、コンクリート構造物の劣化診断における強度推定の方法として大変良い方法であることが確認できた。

5. おわりに

限られたデータの中での検討となったが、実構造物への適用を試みた結果、針貫入試験による圧縮強度の推定の可能性が確認できたと考える。したがって、構造物全体の耐荷力の推定および劣化診断の精度向上ができる可能性が得られたと考える。

最後に、今回一定貫入量における平均仕事により圧縮強度を推定したが、同様に直接、平均荷重（一定貫入量）あるいは平均貫入量（一定荷重）から圧縮強度の推定を行うことも可能である。

謝辞：本研究にあたり多大な協力を頂いた東北大学工学部4年 畔柳幹雄氏に感謝の意を表す。

6. 参考文献

- 1) 斎藤 裕・氏家 久芳・三浦 尚：針貫入によるコンクリート構造物の劣化診断に関する研究、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp. 490-491、1992. 9
- 2) 長田 光正・三浦 尚・斎藤 裕：針貫入によるコンクリート強度推定のための基礎的研究、土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集、pp. 456-457、1991. 3
- 3) 斎藤 裕・三浦 尚・堀 宗朗・長田 光正：針貫入を用いたコンクリートの凍害劣化の診断について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14、pp. 997-1002、1992. 6

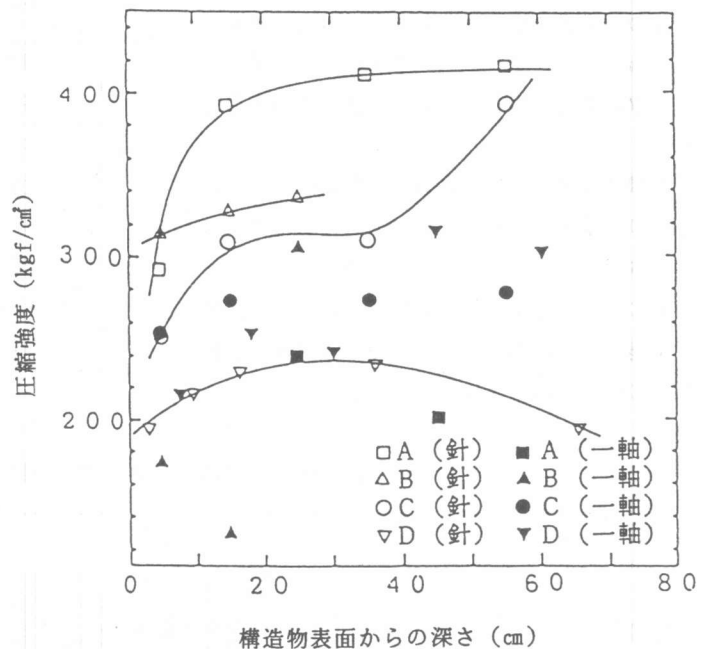


図-8 構造物表面からの深さと圧縮強度の分布の関係