

# 論文 新針貫入試験機によるコンクリートの劣化度推定に関する研究

山守 亨\*1・三浦 尚\*2・西丸 知範\*3

要旨：劣化診断におけるコンクリートの強度推定法として、新針貫入試験機を用いた針貫入試験法について検討した。既往の研究により、針貫入試験法による強度推定は可能であることが報告されているが、現在、その信頼性、簡便性を更に向上させるために新しい試験装置の開発を進めている。径2cmのコアの側面部分に針を貫入させながら、針の貫入量と針に加わる荷重を測定し、得られた貫入量と荷重の関係を1次式で近似し、その傾きを強度推定の指標として用いた。強度推定の指標と圧縮強度の間には線形的な相関がみられ、この相関関係を用いることで、針貫入試験法によるコンクリートの強度推定は可能であると思われる。

キーワード：新針貫入試験機、針貫入試験法、強度推定、径2cmのコア

## 1. はじめに

凍害による劣化の場合、劣化はコンクリート構造物表面から徐々に内部に進行していくことが多く、図1に示すように構造物の表面から深さ方向に強度が変化するものと考えられる。このような場合、構造物表面からの強度分布を把握することで、構造物の劣化度を推定することができる。

合理的に凍害を受けたコンクリート構造物の劣化度を推定する方法として、構造物から小さい径の十分に長いコアを採取し、構造物表面から深さ方向にある間隔ごとにコンクリートの強度を推定し、得られた強度分布から、構造物全体の劣化度を推定するという方法が提案されている[1]。

また、劣化診断におけるコンクリートの強度推定方法として、針貫入試験法が提案されている[1]。針貫入試験法とは、構造物から採取したコアの側面に鋼製の針を貫入させながら、針の貫入量と針に加わる荷重を測定し、得られた針の貫入量と針に加わる荷重の関係からコンクリートの強度を推定しようというものである。既往の研究により、針貫入試験法によるコンクリートの強度推定は可能であることが報告されているが[1]、現在、針貫入試験法の信頼性、簡便性を更に向上させるために新しい試験装置の開発を進めている。

本研究では、上記のような構造物の劣化度推定法を念頭において提案されたコンクリートの強度推定法、針貫入試験法について、新しく開発した針貫入試験機を用い、その可能性を検討した。

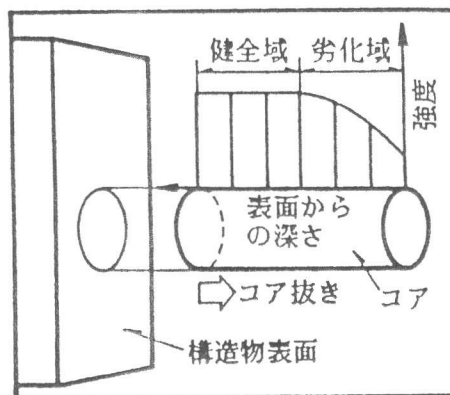


図-1 構造物表面からの劣化度の概念図

\*1 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)

\*2 東北大学教授 工学部土木工学科、工博 (正会員)

\*3 東北大学 工学部土木工学科

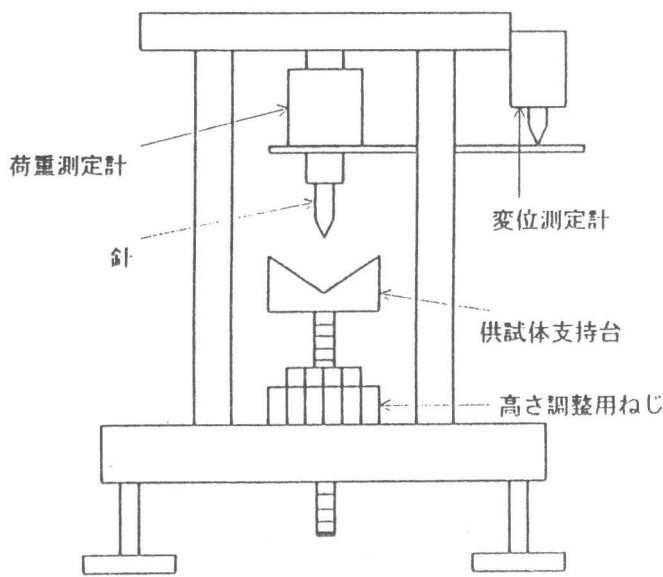


図-2 新針貫入試験機の概略図

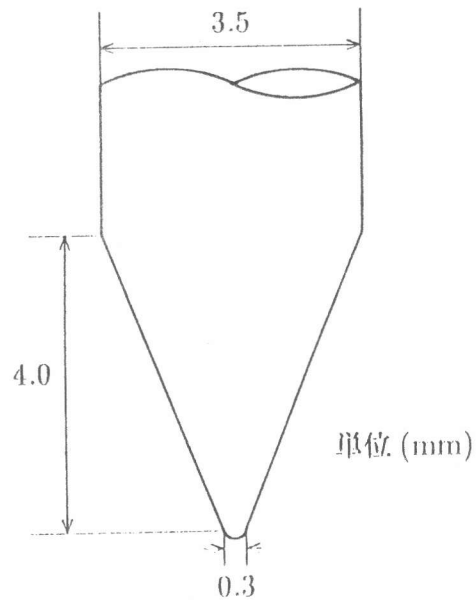


図-3 針の概略図

### 3. 新針貫入試験機

本研究で用いた新針貫入試験機の概略図を図2に示す。従来、針貫入試験で使用していた試験装置は、電動一軸圧縮試験機を改良したもので、針貫入試験専用の試験装置ではなかった為、専用の試験装置の開発が以前から望まれていた。針貫入試験機の開発は、現場において構造物の劣化診断が正確に、かつ簡便に行われるよう、性能の向上だけでなく機動性、操作性も考慮して進められた。

試験機本体の寸法は20cm×25cm×40cm程度で、重量はおよそ9kgと軽量でコンパクトである。また、誰にでも簡単に扱えるので、現場でコアを採取し、その場ですぐに針貫入試験を行い、コンクリートの強度を推定することができる。

試験方法は、構造物から採取したコアを試験機本体の固定台に固定し、コアに針を一定の速度で貫入させながら、針の貫入量と針に加わる荷重をある一定時間毎に測定するというものである。得られたデータはデータロガーから計算機に転送され、データ処理が行われコンクリートの強度が推定される。一回の測定に要する時間はおよそ1分である。

従来、針貫入試験で使用していた試験装置から大幅に改良された点は、測定、データ処理がすべて自動化されたこと、また、現場への適用を考慮して屋外での使用が可能になったことの2点である。

次に本研究で使用した針の概略図を図3に示す。この針は、ピンテスターという非破壊試験機用の針である。針の形状によりコンクリートの強度推定の精度が異なることが考えられるが、この針を用いた研究において、良好な結果が報告されている[2]。針は試験機にドリルチャックにより固定されている。

なお、針貫入試験に用いるコアの径は2cmと小さいものであるため、構造物から長いコアを採取する場合、構造物中の鉄筋を避けてコアを採取することができる。

### 3. 実験概要

#### 3.1 使用材料及び配合

セメントは市販の早強ポルトランドセメント、細骨材は宮城県大和町産山砂（比重：2.53、

表-1 コンクリートの配合及び圧縮強度

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量の 範囲 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					圧縮強度 (MPa)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤	
25	8±1.0	2±0.5	70	43	179	256	782	1170		26
25	8±1.0	2±0.5	68	43	179	263	779	1166		29
25	8±1.0	2±0.5	65	43	179	275	776	1160		34
25	8±1.0	2±0.5	60	42	179	298	750	1166		37
25	8±1.0	2±0.5	58	42	181	312	743	1156		39
25	8±1.0	2±0.5	55	41	181	329	720	1166		42
25	8±1.0	2±0.5	53	41	181	342	716	1160		43
25	8±1.0	2±0.5	50	40	183	366	689	1164		48
25	8±1.0	2±0.5	48	42	168	350	744	1159	C×0.6%	51
25	8±1.0	2±0.5	45	42	168	373	736	1146	C×0.6%	53
25	8±1.0	2±0.5	43	42	168	391	731	1136	C×0.6%	54
25	8±1.0	2±0.5	40	42	170	425	717	1115	C×0.6%	57
25	8±1.0	2±0.5	37	39	175	473	646	1139	C×0.6%	59
25	8±1.0	2±0.5	35	38	175	500	620	1140	C×0.6%	62

吸水率：2.64%)、粗骨材は宮城県丸森産碎石  
(最大寸法：25mm、比重：2.86、吸水率：0.98  
%)を使用した。減水剤はナフタリンスルホン酸  
塩を主成分とするものを用いた。

本研究では強度の異なる14種類のNon-AEコン  
クリートを用いた。配合及び材齢28日での圧縮  
強度を表1に示す。

各配合につき10cm×20cmの円柱供試体を7本  
用意した。打設後約24時間で脱型し、21±3℃の  
恒温水槽で養生した。材齢28日で、2本の供試体  
からダイヤモンドコアドリルを用いて直径2cm、  
長さ9cm程度のコアを6本採取し(図4参照)、他  
の5本の供試体は圧縮強度の測定に用いた。

### 3.2 針貫入試験法とその検討

針貫入試験はコア採取後直ちに新針貫入試験  
機を用いて行った。コアをコア固定台に固定さ  
せた後、針を一定の速度(およそ3mm/min)で貫  
入させながら、針の貫入量と針に加わる荷重を  
0.1秒毎に測定した。測定結果の一例を図5に示  
す。なお、参考文献[1]では、針の貫入速度を  
0.2mm/minとしているが、本研究では、試験時間  
を大幅に短縮させるため針の貫入速度を3mm/min  
として試験を行った。

1つのコアにつき10~15箇所針を貫入させた。  
なお、針の貫入位置はコア側面の粗骨材を避け

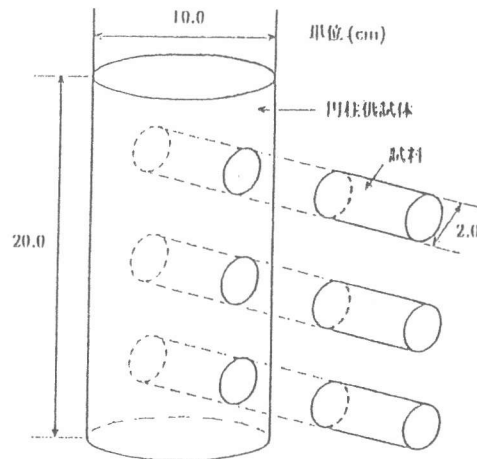


図-4 サンプルング図

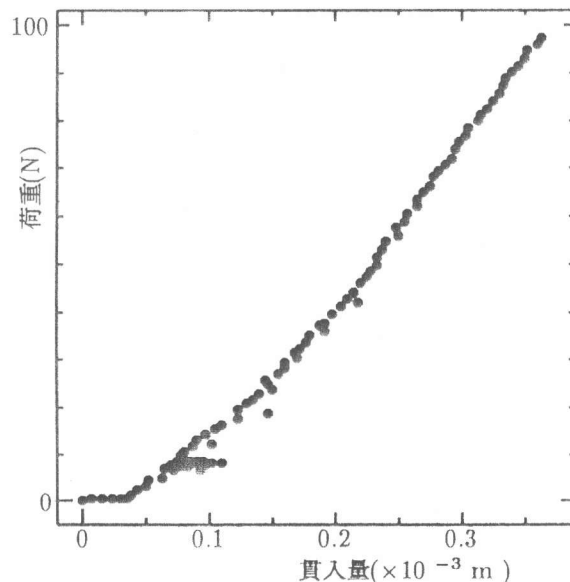


図-5 測定結果の一例 (W/C=60%)

たモルタル部分とした。内部の粗骨材などに針が当たる等の理由により他と極端に異なる測定結果が得られた場合、その都度そのようなデータを除きながら各配合について80箇所分のデータを得た。なお、コアに針を貫入する際、過度の力を加えるとコアに損傷を与える可能性があるため、針に加える荷重の最大値は98 N程度とした。

参考文献[1]では、針を一定量貫入させるために必要な仕事量を強度推定の指標として用いている。それに比べて、より簡単な計算で強度推定の指標を求めることができるよう、本研究では、針貫入試験により得られた針の貫入量と針に加わる荷重の関係を1次式で近似した際の傾きを、強度推定の指標として用いることにした。

針貫入試験により得られる針の貫入量と針に加わる荷重の関係は、同一配合であってもコンクリート中に存在する空隙、細骨材等の影響により、針の貫入箇所によって多少異なるものである。そこで貫入箇所の違いによるばらつきの影響を除き、各配合の平均的な針の貫入量と針に加わる荷重の関係を求めるため以下のような統計処理を行い、各配合の強度推定の指標を求めた。まず、 $n$ 番目の貫入箇所での針貫入試験を行った際に得られた針の貫入量と針に加わる荷重の関係を最小二乗法を用いて1次式で近似した ( $n=1 \dots 80$ ) (図6参照)。

$$P = An + BnX \quad (1)$$

$P$  : 針に加わる荷重 (N)

$An$  :  $n$ 番目の針貫入箇所を得られた近似式の切片

$Bn$  :  $n$ 番目の針貫入箇所を得られた近似式の傾き

$X$  : 針の貫入量 (mm)

この際、荷重が12.3N付近で荷重一定のまま貫入量だけ増加するという現象 (図5参照) が見られた。この現象は、ほとんどの測定結果において確認されたので、図6に示すように荷重の値が12.3Nに達するまでの測定データは初期補正として除外した。次に、各配合で得られた80の $Bn$  ( $n$ 番目の

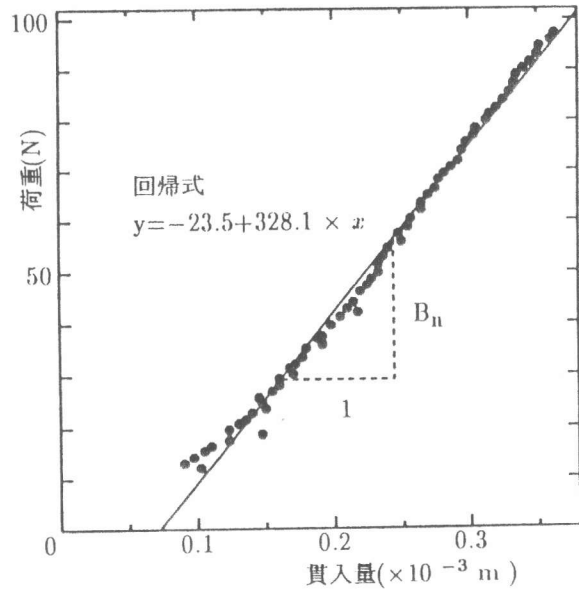


図-6 初期補正後の貫入量と荷重の関係と回帰式の一例 (W/C=60%)

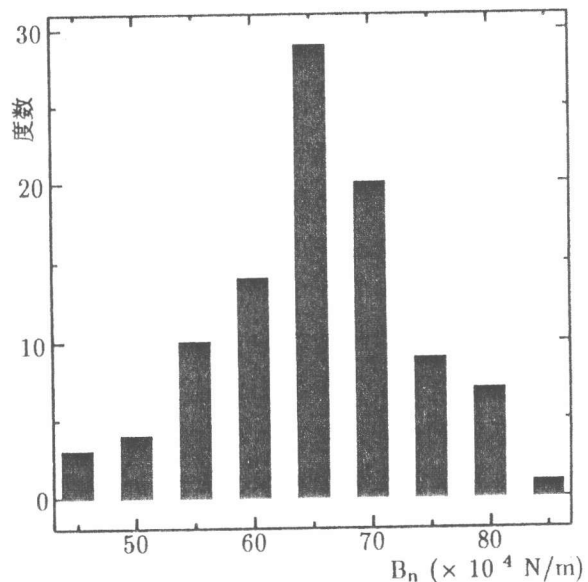


図-7  $Bn$ の度数分布 (W/C=35%)

針貫入箇所得られた近似式の傾き)の平均値を求め、各配合の強度推定の指標B(傾き)を決定した。この際、 $B_n$ は正規分布に従うと仮定し(図7参照)、平均値からの偏差が標準偏差の3倍を越える値は、その確率が無視してよい程度に小さくなるという理由から除外した。また、同一供試体から採取されたコアの間では、測定データに明瞭な差は見られなかった。

### 5. 実験結果及び考察

3.2で得られた強度推定の指標B(傾き)を基に、針貫入試験法によるコンクリートの強度推定の可能性について検討する。各配合について得られた指標B(傾き)と圧縮強度の関係を図8示す。圧縮強度と指標B(傾き)の間には線形的な関係がみられる。そこで本研究では圧縮強度と指標B(傾き)の間には線形の関係があると仮定し、強度推定の可能性を検討した。

図9に指標B(傾き)と圧縮強度の関係を最小二乗法を用いて回帰した1次式、および実現値の95%の信頼区間を示す。図中の回帰直線からの強度の標準偏差は2.0MPaであり、相関係数は0.99である。両者の相関は十分に高いことが確かめられた。これらの関係を基に信頼係数95%で強度を推定した場合、誤差はおよそ $\pm 4.4$ MPaであり、信頼係数90%で強度を推定した場合、誤差はおよそ $\pm 3.4$ MPaである。この程度の精度ならば、実用上十分であると思われる。

また、針貫入試験の実用化を図る場合、簡便性を考慮すると貫入箇所数は少ない方が好ましい。本研究では貫入箇所数を80としたが、貫入箇所数が40を越えると、 $B_n$ (傾き)の平均値や標準偏差はほぼ一定の値を示すようになるので、40程度のデータを用いれば、貫入箇所数が80の場合と同様な精度で強度を推定できると思われる。

更に針貫入試験の簡便性を向上させるための検討を行った。これは、針に加わる荷重がある一定の値Pに達した時の針の貫入量 $\delta$ を求め、強度推定の指標として $P/\delta$ を用いるというものである。

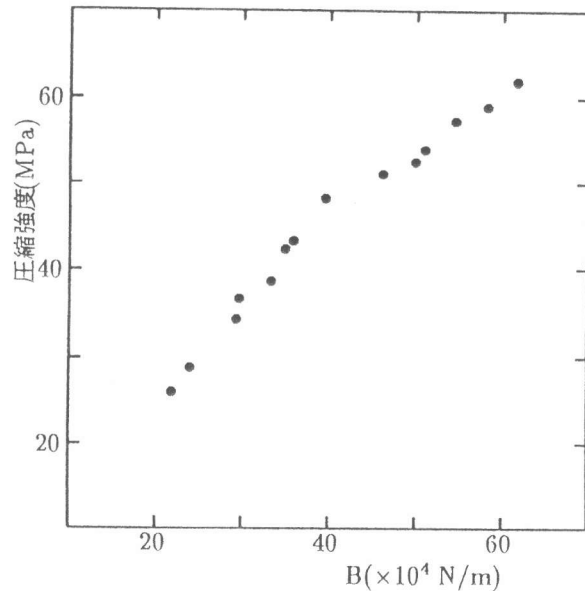


図-8 指標B(傾き)と圧縮強度の関係

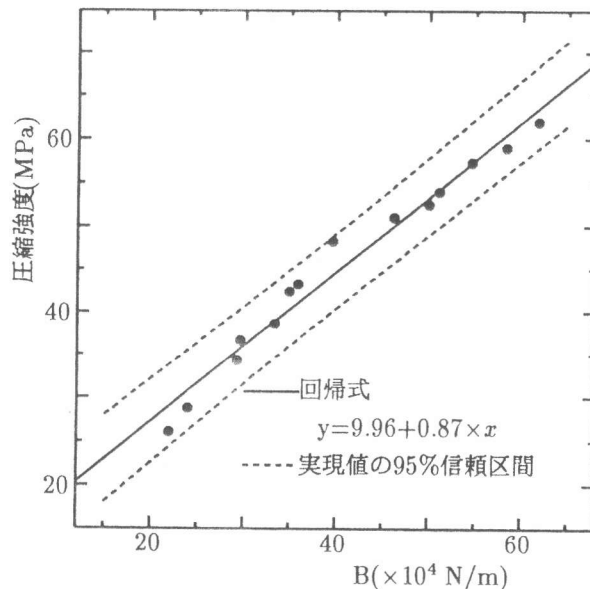


図-9 指標Bと圧縮強度の関係および回帰式と実現値の95%信頼区間

$P/\delta$ は、本研究で強度推定の指標として用いた指標B（傾き）を簡略化したものである。指標B（傾き）を求めるためには計算機が必ず必要となるが、 $P/\delta$ の場合、手計算でも十分である。

針貫入試験により得られたデータに初期補正を加えた後、指標B（傾き）を求めたのと同様の手順で $P/\delta$ を求めた。図10に各配合について得られた $P/\delta$ と圧縮強度の関係と、最小二乗法を用いて回帰した1次式を示す。図中の回帰直線からの強度の標準偏差は2.1MPaであり、相関係数は0.98である。指標B（傾き）を強度推定の指標として用いた場合に比べ、若干相関は悪いものの、指標B（傾き）を用いた場合と同様に、コンクリートの強度推定は十分可能であると思われる。

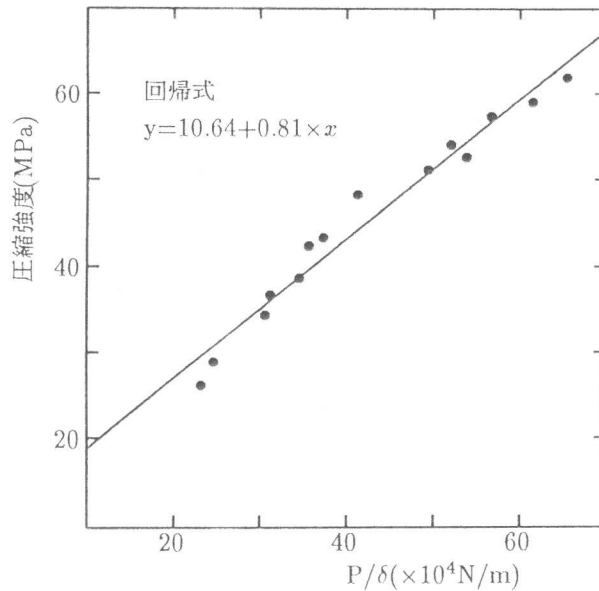


図-10 指標 $P/\delta$ と圧縮強度の関係

最後に、針貫入試験での針の貫入量はおよそ0.3mm程度である。そのため針先端の形状が強度推定の精度に大きな影響を与えると考えられる。本研究で用いた針は試験装置で前述したように鋼製の針であるが、コンクリートに針をある程度回数貫入させているうちにその先端形状が変化してしまう。このことより、今後、耐久性に優れ、先端形状が均一な針の開発が必要であろう。

なお、骨材の種類が異なる場合への対応や、ひび割れによる強度低下が予想される場合などについてはこれからの課題であろう。

## 5. 結論

以上のことから、次のような結論が得られた。

- ・ 径2cmのコアに対して針貫入試験を行った際に得られる、指標とコンクリートの圧縮強度の間には良い相関がある。
- ・ 今回得られた、指標と圧縮強度の関係を用いることで、針貫入試験を凍害を受けたコンクリート構造物に適用し、構造物の劣化度を推定することは十分に可能であると思われる。

## 謝辞

本研究は（社）東北建設協会・建設事業の技術開発に関する助成金を受けて行ったものである。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 齊藤 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
- [2] 齊藤 裕・三浦 尚・氏家 久芳・KOOI KAM SIEW：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、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、pp655-660、1993