

報告 ポストセットアンカー引抜き法によるコンクリート圧縮強度の推定法に関する実験および実構造物への適用

井上和政*1・和泉意登志*2・押田文雄*3・岩橋司*4

要旨: 拡底によりすべり量を低減したポストセットアンカーを用いることで、引抜き耐力とコンクリートの圧縮強度との間に良好な関係式が得られた。この相関関係における寄与率は、併行して行ったシュミットハンマー法や超音波伝搬速度法よりも高かった。本実験によって得られた、引抜き耐力による圧縮強度推定式を実構造物の強度推定に適用した結果、コア強度に対して概ね±20%の推定精度であることがわかった。

これにより、このポストセットアンカー引抜き法を用いることで、コンクリートの圧縮強度を推定できることが確認できた。

キーワード: アンカー、引抜き法、ポストセット、圧縮強度、既存躯体、非破壊試験

1. はじめに

近年、ストック型建築への移行に伴うリニューアル工事の増加や、阪神大震災以降の耐震補強工事の増加から、既存コンクリート構造物の圧縮強度を非破壊試験で推定するニーズが高まっている。既存コンクリート構造物の圧縮強度を非破壊試験で推定する方法に関する研究は、1930年代頃からみられ、現在まで数多くの方法が提案されている¹⁾。しかし、いまだに簡便で推定精度が高い方法は確立されていない現状にある。

森田らは、コンクリート打設時にボルトを埋め込んでおくプレセット方式と後からボルトを埋め込むポストセット方式の局部破壊による引抜き試験の有用性について報告している²⁾。本報では、前田らのポストセット方式³⁾の引抜き試験方法、谷川らのホールインアンカー引抜き法⁴⁾に改良を加え、削孔ドリルのジャイロ回転により、拡底がより確実になる拡底式アンカーの引抜き方法について実験した結果⁵⁾、および高強度コンクリートを用いた模擬部材を含む実構造物に採用した検証結果⁶⁾について報告する。

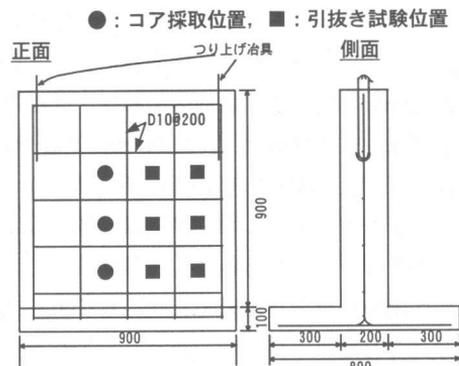


図-1 試験体の形状・寸法

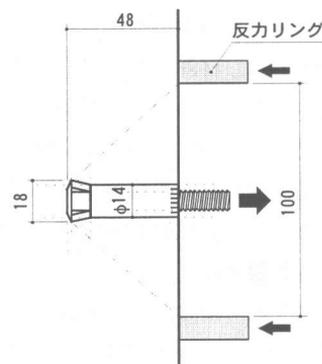


図-2 引抜き試験の概要

*1 (株)竹中工務店 技術研究所 研究員 博士(工学) (正会員)
 *2 (株)竹中工務店 技術研究所 主任研究員 工博 (正会員)
 *3 (株)竹中工務店 技術研究所 研究員 (正会員)
 *4 (株)竹中工務店 九州支店設計部 構造担当 (正会員)

表-1 コンクリートの調合および試験結果

調合 No.	水セメント比 (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)					スランプ (cm)	空気量 (%)	試験結果	
			W	C	S	G	混和剤			28日圧縮強度 (標水) (N/mm ²)	13週コア圧縮強度* (N/mm ²)
1	40	43.2	175	438	711	967	4.82	18.5	3.9	54.4	①47.7 ②49.0
2	45	42.0	183	407	697	988	4.07	17.5	4.3	33.0	①39.0 ②40.2
3	50	44.0	180	360	751	980	3.60	19.5	4.0	30.1	①33.5 ②34.6
4	55	45.0	179	325	782	980	3.25	17.0	4.3	29.7	①33.2 ②32.9
5	60	46.0	179	298	810	975	2.98	17.5	4.6	26.2	①28.7 ②29.4
6	70	47.7	181	259	851	959	2.59	19.0	3.7	19.2	①21.6 ②22.6
7	75	48.3	182	243	867	954	2.44	17.5	4.3	17.9	①19.7 ②20.2

*①は試験体①から、②は試験体②からそれぞれ採取した3本のコアの圧縮強度の平均値を示す。

2. 実験概要

2.1 コンクリート試験体

使用したコンクリートは、水セメント比を 40, 45, 50, 55, 60, 70 および 75%とした普通コンクリート7種類である。コンクリートの調合を表-1に示す。コンクリートは、目標のスランプを 18 cm, 空気量を 4.5%として、レディミクストコンクリート工場で製造した。細骨材には陸砂と砕砂の混合砂を、粗骨材には硬質砂岩碎石 2005 を用いた。試験体の形状・寸法を図-1に示す。試験体は、長さ 90 cm, 高さ 90 cm, 厚さ 20 cmで、D10の鉄筋を縦・横とも 20 cmピッチでシングル配筋した壁模擬試験体とした。

コンクリートの打込みは、上部から行い、まず低版部分を十分締め固めた後、壁部分を2層に分けて打込み・締め固めを行った。型枠を材齢1週で取り外し、以後試験材齢まで屋外に暴露した。試験体は、水セメント比7水準ごとにそれぞれ2体で合計14体製作した。屋外暴露した各試験体から、材齢13週においてそれぞれ3本φ10×h20cmのコアを採取し(図-1中の●印)、JIS A 1107に準じて試験し、3本の圧縮強度の平均値をその試験体のコア強度とした。コンクリートの試験結果を表-1に示す。

2.2 試験方法

試験方法を図-2に示す。専用のドリルビット(刃径:14.5mm)を装着したドリルを用いて、コンクリート面に垂直に深さ48mmの孔(拡底孔)をあけた。孔内のコンクリート粉をスポイドで取り除き、所定のアンカー(径:14mm)を専用のアンカー打込み工具を用いて

所定の深さまで打ち込んだ。引抜き試験機のアダプターを打ち込んだアンカーのねじ部にねじ込み、引抜き試験機(手押し式油圧ポンプ)を

設置した。引抜き試験機により、アンカーに引張荷重をかけ、最大荷重を引抜き耐力とした。引抜き試験位置は図-1に示した6箇所とし、試験材齢は13週~15週とした。

また、引抜き試験結果を既存の非破壊試験方法¹⁾と比較する目的で、シュミットハンマー法および超音波伝搬速度法を実施した。シュミットハンマー法では、測定値の平均値の±20%以上となった値を切り捨て、常に測定値が20点となるように測定値を補充し、その平均値を反発度Rとした。

超音波伝搬速度法の試験には、P社製の超音波式コンクリート品質試験器を用いた。音速の測定は、壁厚方向と長手方向で発振子と受振子を同一線上で対面に設置する対面法²⁾と、同一面内で発振子と受振子を距離20cmに設置する表面法の計2手法で行った。

3. 実験結果および考察

引抜き試験結果を表-2に示す。各試験体のコア強度とそれに対応する引抜き耐力の平均値、標準偏差および変動係数の関係を図-3~図-5に示す。

3.1 引抜き耐力とコア強度の関係

図-3より、コア強度が高くなると、アンカー引抜き耐力が高くなる関係にある。この関係を最小自乗法によって1次式で表すと、この推定式の相関係数は、0.98と高い値を示した。これは、既往の研究結果⁴⁾で示された値0.916よりも大きい。このことから、本引抜き試験により、コンクリート強度を高い精度で推定できる

表-2 引抜き試験結果

試験体記号	アンカー引抜き耐力(kN)		
	平均値	標準偏差	変動係数(%)
40-①	45.1	2.34	5.2
40-②	43.2	2.96	6.9
45-①	36.3	4.03	11.1
45-②	36.0	4.03	11.2
50-①	32.3	3.45	10.7
50-②	31.5	4.13	13.1
55-①	29.9	2.06	6.9
55-②	31.5	1.25	4.0
60-①	28.3	4.43	15.6
60-②	26.7	4.96	18.6
70-①	25.9	2.73	10.5
70-②	22.5	3.95	17.6
75-①	20.3	2.32	11.5
75-②	17.8	3.22	18.1

ことが明らかになった。実験で得られた圧縮強度の推定式は、以下の式(1)および(2)である。

$$P = 0.816 \times F_c + 4.160 \quad \dots (1)$$

$$F_c = 1.225 \times P - 5.098 \quad \dots (2)$$

ここで、P：引抜き耐力(kN)

F_c：圧縮強度(N/mm²)

3.2 アンカー引抜き耐力のばらつき

表-2 および図-4 より、1 試験体 6 個のアンカー引抜き耐力の標準偏差は 1.25~4.96kN の範囲にあり、全標準偏差の平均値は 3.04 kN であった。コア強度と引抜き耐力の標準偏差との間には、明確な関係は認められない。

また、表-2 および図-5 より、6 個のアンカー引抜き耐力の変動係数は 4.0%~18.6% の範囲にあり、全変動係数の平均値は 11.5% であった。コア強度が高くなると、引抜き耐力の変動係数が小さくなる傾向にある。

3.3 アンカーの引抜き試験本数

各試験体ごとに 6 個の引抜き耐力値がある。このデータを用いて本試験方法における必要試験本数を検討した。各試験体ごとに、1 個から 5 個までの試験値を乱数表により抽出した。これらの値を用いて、試験本数 (N) が 1, 2, 3, 4 および 5 個の場合における引抜き耐力の平均値 y とコア強度の関係 x を、最小自乗法による

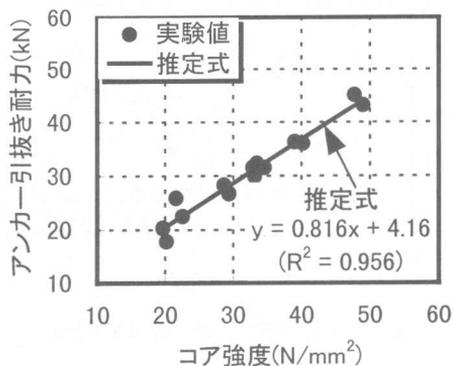


図-3 コア強度と引抜き耐力の関係

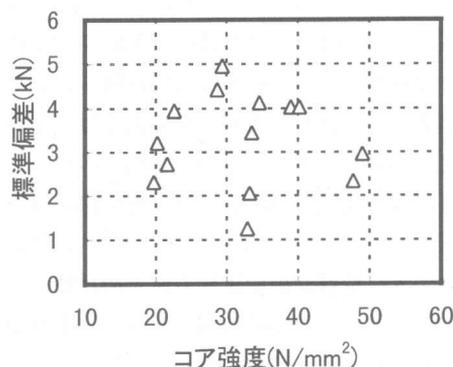


図-4 コア強度と標準偏差の関係

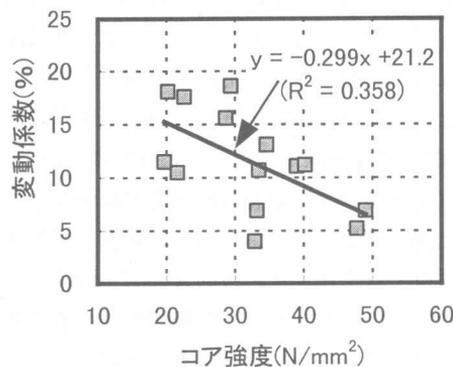


図-5 コア強度と変動係数の関係

表-3 推定式と相関係数

データ数	傾きa	切片b	相関係数R
N=1	0.87	0.47	0.96
N=2	0.87	2.60	0.97
N=3	0.79	5.27	0.96
N=4	0.83	3.65	0.96
N=5	0.82	3.76	0.97
N=6	0.82	4.16	0.98

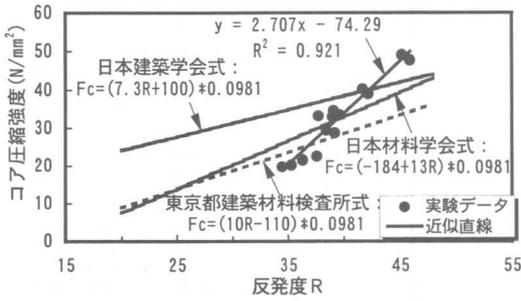


図-6 反発度とコア強度の関係

1次式 ($y=ax+b$) で表した結果を表-3に示す。相関関係はいずれの場合も0.96以上であり、相関性が高い。傾き a および切片 b については、データ数 N が4以上の場合にほぼ同じ値となっている。以上より、実験の範囲内では、本試験方法における必要試験本数は4個と考えられる。これはコア強度と同程度の精度を確保するために示された既往の研究結果^{1),2)}と同個数である。

3.4 既存非破壊試験方法との比較

壁試験体のコア圧縮強度とシュミットハンマーによる反発度の関係を図-6に示す。シュミットハンマー法による反発度 R とコアの圧縮強度との間には、比較的良好な相関関係が見られた。同図中に、提案されている主だった反発度と圧縮強度の関係式を併記するが、今回の反発度とコア圧縮強度の試験結果は、いずれの提案式、評価式でも満足に表すことはできなかった。

試験体のコア圧縮強度と音速の関係を各手法別に図-7に示す。コアの圧縮強度と音速との間には、各手法別に比較的良好な相関関係が見られた。しかしながらこの相関関係の式は各手法によって異なっており、各手法毎に相関式が必要となることを示唆している。

以上より超音波伝搬速度法によって圧縮強度を推定する場合には、その測定方法を限定し、なおかつ相関関係式を事前に得ておく必要があるものと思われる。相関係数は、本引抜き試験の方がいずれの手法の場合よりも高かった。

3.5 各種提案式との比較

本実験で得られた実験式と各種提案式¹⁾の比

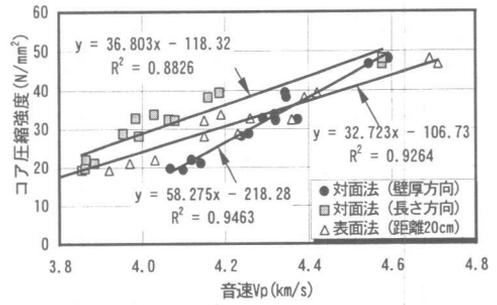


図-7 超音波伝搬速度とコア強度の関係

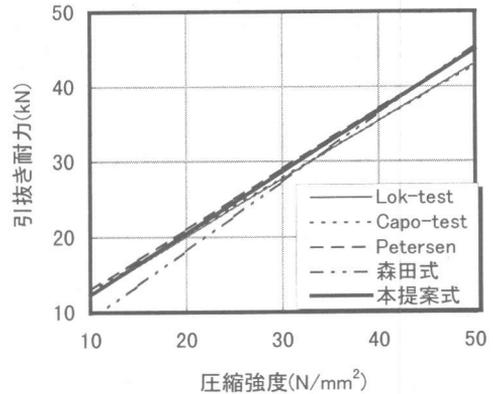


図-8 各種提案式との比較

較を図-8に示す。本提案式は、デンマーク規格の Lok-test, Capo-test, Petersen 式および森田らの式とほぼ同じ関係にあり、その中でも特に Petersen 式に最も近い結果となった。

4. 実構造物による検証

4.1 試験概要

模擬部材を含む7件の実建物に引抜き法を採用し、適用性と精度を検証した。試験を採用した建物は、3件が新築建物、3件が既存建物(築後21~32年)、1件が高強度コンクリートを用いた模擬部材である。模擬部材の寸法・形状を図-9に示す。試験体寸法は60 cm×60 cm×高さ100 cmの柱部材を模擬したもので、無筋とした。模擬部材のコンクリートは、水セメント比が38, 40, 42%の3種類のコンクリートで、高性能AE減水剤を使用し、スランプフロー60 cm程度とした高流動コンクリートである。コン

表-4 実構造物への適用結果一覧

建物種別 建物記号	新築建物												既存建物										模擬部材				
	A			B						C			D			E				F		G					
	柱	壁	床	①	②	①	②	①	②	③	柱	壁	①	②	③	①	②	③	④	⑤	①	②	①	②	③		
コア強度 (N/mm ²)	31.8	33.2	30.2	28.4	27.6	28.4	27.6	27.4	28.8	28.8	33.2	33.0	15.9	16.5	19.0	18.8	19.0	21.8	18.7	15.4	20.8	21.2	33.1	29.2	54.8	54.4	52.4
推定強度 (N/mm ²)	26.0	24.3	24.3	26.0	26.4	25.7	33.6	17.8	21.5	22.7	34.5	31.9	15.0	19.1	20.0	16.8	18.5	22.4	23.4	17.4	20.2	22.5	32.5	32.5	42.6	51.3	54.4
推定強度 コア強度	0.82	0.73	0.81	0.91	0.96	0.90	1.22	0.65	0.74	0.79	1.04	0.97	0.94	1.16	1.05	0.89	0.97	1.03	1.25	1.13	0.97	1.06	0.98	1.11	0.78	0.94	1.04

引抜き耐力によるコンクリート圧縮強度の推定式: $\text{圧縮強度(N/mm}^2\text{)} = 1.235 \times (\text{引抜き耐力(kN)}) - 5.098$, 試験数N=4(一部N=2)
 補正圧縮強度(N/mm²) = 推定圧縮強度(N/mm²) × $\sqrt{41 / ((4-L)^2 + 25)}$

クリートの打込みは、試験体上部から打込み、締固めは一切行わなかった。コンクリート打設後、同図中に示すように、上部に発砲スチロールを載せ、コア採取までこの状態で屋外暴露した。模擬部材の強度試験は、試験体上面から材齢8週でコア採取して行い、その後試験体の側面を用いて引抜き試験を実施した。

新築建物、既存建物での試験は、まず建物の構造体からφ100mm×h200mmのコアを採取し、その近傍で引抜き試験を実施した。

4.2 検証結果

新築建物、既存建物および模擬部材で引抜き試験を実施した際に、アンカーボルトの軸部と拡底鞘部との間で、すべりによる若干の拔出しが観察された。これはアンカーボルトの打込み不足によりアンカーが十分に拡底しなかったためと考えられる。この拔出しが生じると、円錐コーンの高さが小さくなり、コーン破壊面の側面積が減少するため、実験式(2)で推定される圧縮強度は、実際より小さくなる³⁾。但し、図-10に示すように、拔出し量とコア強度に明確な

関係は見られない。そこで、アンカーに拔出しが生じた場合には、その拔出し量をノギスを用いて測定し、小さくなる側面積分を割増すように(3)式によって補正した値を推定強度とした。

$$FFc = Fc \times \sqrt{41 / ((4-L)^2 + 25)} \dots (3)$$

ここで、FFc: 拔出し量による補正強度
 L: すべりによる拔出し量(cm)

各建物、部位ごとに測定されたコアの圧縮強度および引抜き法による推定強度を表-4に示す。同表によると、梁部材や壁部材に対して試験を水平に行う場合に比べて、床部材に対して鉛直に行う場合には、コア強度よりも推定強度が低下する傾向が強い。床部材への適用には、仕上り精度の影響等、より詳細な検討が必要と考えられる。

コア強度と推定強度との関係を、図-11および図-12に示す。両図を比較すると、両強度の関係をy=xで近似した場合の相関係数が0.865から0.900に向上し、補正によって推定精度は向上した。なお両図によると、比較的強度の高いA、Bの新築建物においては、コア強度に対

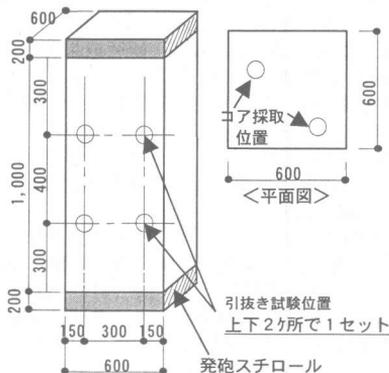


図-9 模擬部材の試験体形状・寸法図

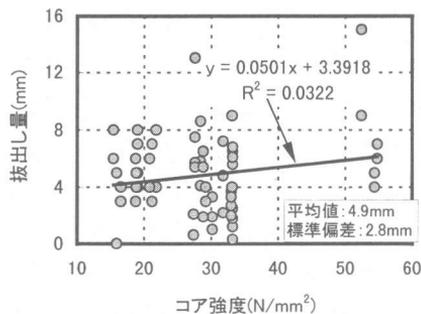


図-10 拔出し量とコア強度の関係

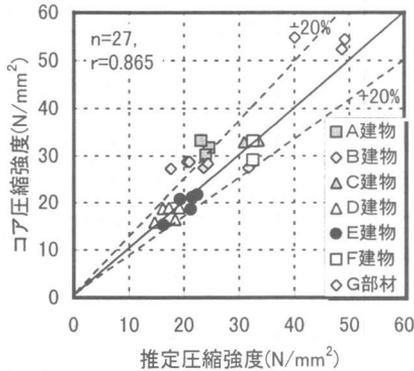


図-11 コア強度と推定強度の比較 (補正前)

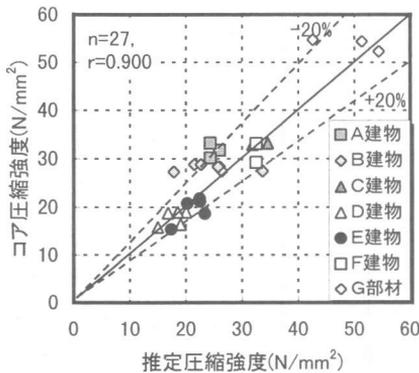


図-12 コア強度と推定強度の比較 (補正後)

して推定強度が低く推定される傾向が見られるが、ほぼ同一強度のC建物では精度良く推定されており、建物間で推定精度に違いが見られた。今後より多くのデータ収集を行って、分析していく必要がある。新築建物の場合、床部材を除き推定強度は、 $-27\sim+22\%$ の範囲内にある。また強度が比較的低い既存建物に本方法を適用した場合には $\pm 20\%$ の誤差範囲内であった。これらは、実工事に適用した既往の研究²⁾での推定精度 $-29\sim+32\%$ よりも高く、本試験方法は、構造体の圧縮強度推定に有効であると言える。但し、既存建物での試験時に、仕上げモルタル除去後のコンクリート表面の凹凸によって、円錐状の破壊面が得られない場合があった。これが誤差の一要因になることも考えられ、推定精度向上のため、コンクリート表面の平滑度の影響を定量化するなどの検討が今後の課題である。

高強度コンクリートを用いた模擬部材の場合、コア①の場合を除き、コア強度の $\pm 20\%$ の範囲内で推定できている。推定強度①もコア強度の -22% であり、高強度領域でもコア強度に対して概ね $\pm 20\%$ の精度が確保できると考えられる。以上から、本推定方法は、圧縮強度 50N/mm^2 程度まで実用領域にあるものと考えられる。

5. まとめ

本研究によって得られた結果を以下に示す。

- 1) 拡底式ポストセットアンカーを用いた引抜き法は、既往のシュミットハンマー法等に比べてコア強度との相関が強く、構造体の圧縮強度推定に有効である。
- 2) 本引抜き法は、 50N/mm^2 程度の高強度コンクリートにまで適用できる。
- 3) 本引抜き法を実構造物の圧縮強度推定に適用した結果、床部材を除き、新築・既存建物のコア強度に対して $\pm 20\%$ 程度の精度でコンクリートの圧縮強度を推定できることがわかった。

なお、実構造物の圧縮強度の推定精度をより向上させるため、コンクリート表面の平滑度の影響を定量化すること、施工方法を標準化してアンカーのすべり量を低減することなどが残された課題であると考えられる。

【参考文献】

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリートの非破壊試験方法研究委員会報告書 (委員長：谷川恭雄)，1992.3
- 2) 森田司郎：引抜き試験方法の開発と構造体コンクリートの品質管理システムの提案，昭和62年度文部省科学研究費補助金 (試験研究) 研究成果報告書，1988.3
- 3) 前田春雄他：後付けアンカータイプの引抜き試験方法の基礎的研究，日本建築学会近畿支部研究報告集，第29号，pp.1~4，1989.5
- 4) 谷川恭雄他：ホルンアンカーを用いる引抜き法によるコンクリート強度の推定，セメント技術年報，No.35，pp.102~109，1981
- 5) 和泉登志他：ポストセットアンカー引抜き法によるコンクリート圧縮強度の推定法に関する一実験，日本建築学会大会講演梗概集，A，pp.1111~1112，1998.9
- 6) 岩橋司他：ポストセットアンカー引抜き法によるコンクリート圧縮強度の推定法に関する一実験 (実建物への適用他)，日本建築学会大会講演梗概集 (中国)，A，pp.689~670，1999.9