論文　真空脱水締固め工法の処理開始時期の簡易判定手法に関する実験的研究

和藤　浩[*1]・畑中　重光[*2]・三島　直生[*3]・村松　昭夫[*4]

要旨：真空脱水処理を行った床スラブコンクリートが最も良好な強度性状を発揮する処理開始時期は，ほぼブリーディング終了時であることが筆者らにより確認されている。しかし，コンクリートのブリーディング現象は，諸要因の影響を受けるため，真空脱水処理の適切な開始時期も複雑に変化する。本研究では，ブリーディングの状況を踏まえた上で，真空脱水処理工法の適切な開始時期を簡易に判定する方法に関して実験的な検討を行った。本実験で試作された改良型プロクター貫入試験器を用いることにより，真空脱水処理の適切な開始時期をおおよそ判定することができた。

キーワード：真空脱水処理，改良型プロクター貫入試験器，ブリーディング，試験法

１．はじめに

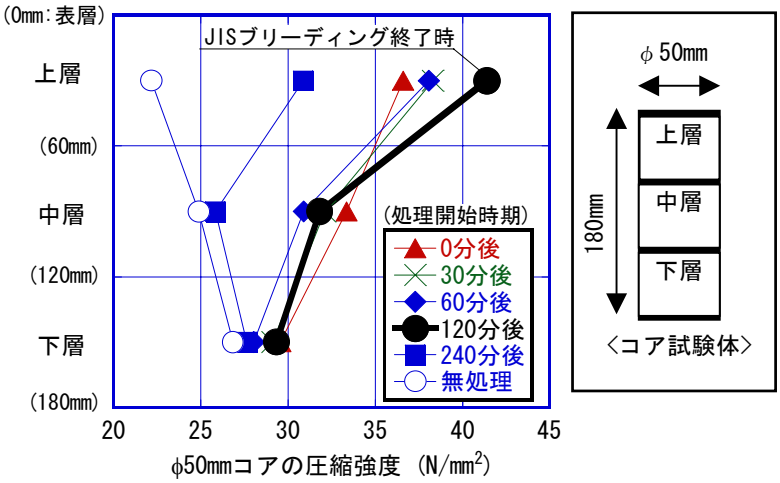
筆者らは，真空脱水締固め工法による床スラブコンクリートの品質改善効果に関する詳細な検討を行ってきた[1)-3)]。その結果，**図－１**に示すように，真空脱水処理を行うことにより，床スラブ表面付近の強度性状が大幅に改善されること，および，この改善効果を最も発揮する脱水処理の開始時期は，コンクリートの強度レベルやスランプを問わず，ほぼブリーディング終了時であることが確認されている。

しかし，コンクリートのブリーディング現象は，調合や材料の性質，型枠，気温などの諸要因の影響を受けるため[例えば４)]，真空脱水処理の適切な開始時期も複雑に変化する。また，実際の施工現場では作業者の経験則によって施工時期が判断されており，その基準は曖昧なものとなっている。このため，明確な施工時期の判定基準の提案が切望されている。

本研究では，ブリーディングの状況とフレシュコンクリートの変形抵抗性には相関関係があると考えた上で，真空脱水処理工法の適切な開始時期を簡易に判定する方法に関して実験的な検討を行った。

２．改良型プロクター貫入試験器

本研究では，真空脱水処理の適切な開始時期の判定手法として，コンクリートの凝結試験として採用されているプロクター貫入試験に着目した。ただし，同試験方法は凝結の開始前後の



図－１　処理開始時期が圧縮強度分布に及ぼす影響[3)]

＊１　三重大学技術専門職員　工学部建築学科（正会員）
＊２　三重大学教授　工学部建築学科　工博（正会員）
＊３　三重大学助手　工学部建築学科　博士(工学)（正会員）
＊４　(株)建和　代表取締役（正会員）

ウエットスクリーニングモルタルを対象とした試験であるため，まだ比較的軟らかい段階のフレッシュコンクリートにはそのまま適用できない。このため，試験器の貫入針の部分を**図－２**に示すようなφ50 mm の貫入プレートに変更し，貫入抵抗値の測定を行った。

貫入抵抗値は，貫入プレートをコンクリート表面に圧入し，12mm圧入された時点での抵抗値とした。測定は,打設終了(鏝仕上げ終了) 60min後から30minごとに，試験体と同一条件(**表－１**中の施工時季参照)で行ったブリーディング試験(JIS A 1123)と並行して行った。**写真－１**に実験の状況を示す。

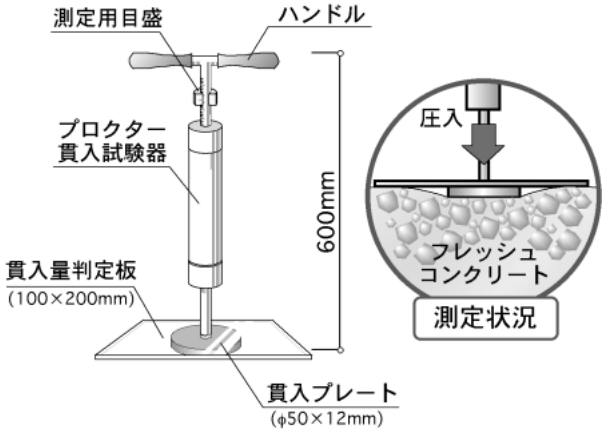
貫入プレートの大きさは，直径を3種類(100mm，80mm，50mm）に変化させて行った予備実験の結果から決定した。すなわち，直径の大きいφ100mmとφ80mmのプレートを使用した場合には，多くの試料においてブリーディングの初期段階で貫入抵抗値の測定上限値(600N)を超えてしまうため，50mmに決定した。

３．実験概要

本実験では，４シリーズの実験室実験および実際の施工現場における確認実験を行った。**表－１**に，実験の因子と水準を，**表－２**にコンクリートに使用した材料の性質を示す。測定項目はブリーディング量と貫入抵抗値である。なお，**図－３**には参考図として，同一雰囲気で行ったJIS A 1123と試験体［46×30×18(高さ)cm］を用いたブリーディング試験の比較を示す。同図から,ブリーディング終了時刻は,締固め方法,試験体寸法などで異なることがわかる。ただし，本実験では，ブリーディング試験として，JIS A

表－２　コンクリートに使用した材料の性質

セメント	普通ポルトランドセメント， 密度：3.15(g/cm^2)
細骨材	骨材寸法：0-5mm，川砂，硬質砂岩， 表乾燥密度：2.59(g/cm^2)
最大寸法 13mm 粗骨材	骨材寸法：5-13mm，砕石，硬質砂岩， 表乾燥密度：2.66(g/cm^2)
最大寸法 20mm 粗骨材	骨材寸法：5-20mm，砕石，硬質砂岩， 表乾燥密度：2.73(g/cm^2)
混和剤	高性能AE減水剤,ポリカルボン酸塩系



図－２　改良型プロクター貫入試験器

写真－１　実験の状況

表－１　実験の因子と水準

	施工時季*		Sl.(cm)	Fc (MPa)	W/C (%)	s/a(vol.%)	φa (mm)	測定項目
実験１	時期： 12 月	気温:15℃,湿度:48%	**13, 18, 22**	25	60	43	13	・ブリーディング試験 (JIS A 1123) ・改良型プロクター貫入試験
実験２		気温:15℃,湿度:46%	18	**25, 35, 45**	**60, 50, 40**			
実験３		気温:15℃,湿度:60%		25	60	**36, 43, 51**		
実験４		気温:14℃,湿度:56%				43	**13, 20**	
現場実験	時期：12 月 気温：14℃ 湿度：59%		18	26	58	54	15	

（注）Fc：目標圧縮強度，Sl.：設計スランプ，W/C：水セメント比，s/a：細骨材率，φa：粗骨材最大寸法，
＊：実験１～４は練混ぜ時のそれぞれの実験での平均値，現場実験はコンクリートの荷下時点の雰囲気を示す。

1123を採用した。

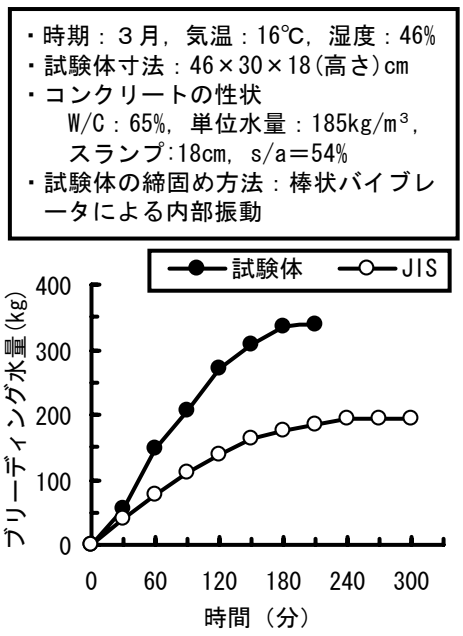
改良型プロクター貫入試験は，打設したフレッシュコンクリートの硬さを貫入抵抗値として測定する試験であるため，フレッシュコンクリート自体のコンシステンシーや粗骨材のインターロックが貫入抵抗値に影響を及ぼすことが予想される。そこで，実験室実験では，スランプ値Sl.，水セメント比W/C，細骨材率s/aおよび粗骨材最大寸法φaの4つの調合要因に着目し，各種調合のコンクリートについて試験を行った。スランプ値Sl.は高性能AE減水剤の添加率を変化させることによって調節した。

試験体は，縦760mm，横1360mm，厚さ150mmの無筋コンクリートスラブとし，突き棒および棒状バイブレータによって締固めを行い，表面を鏝で均して試験に供した。**図－４**にブリーディング挙動と貫入抵抗値測定の関係を示す。

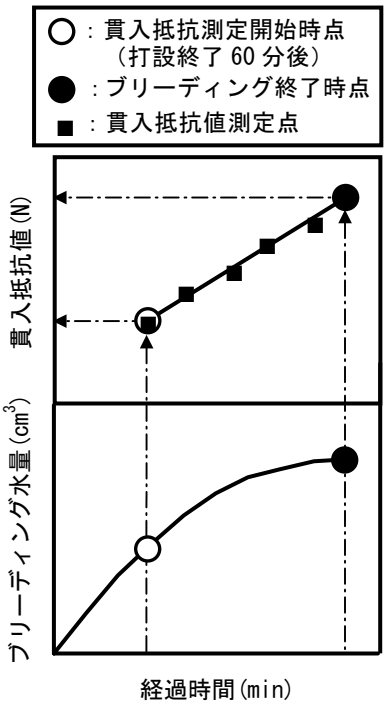
４．実験結果とその考察

４．１　各種調合要因の影響

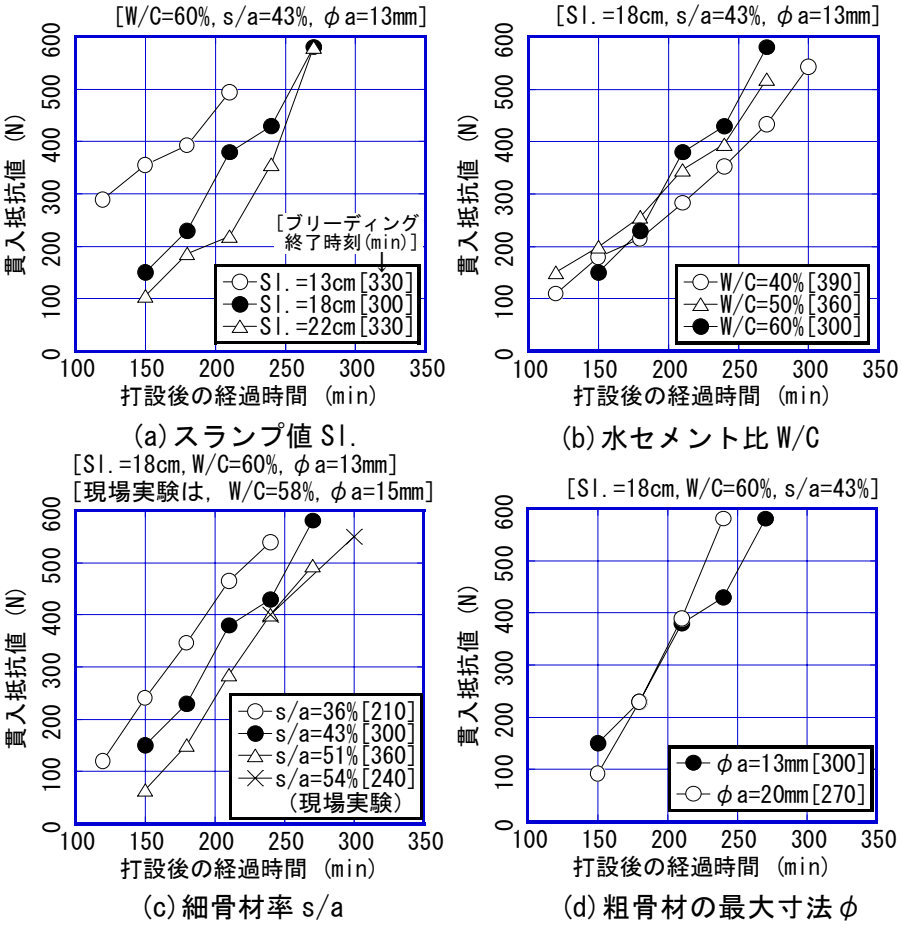
図－５に，貫入抵抗値と打設後（鏝仕上げ終了後）の経過時間との関係



図－３　JIS 試験とスラブ試験体のブリーディングの比較（参考図）



図－４　ブリーディング挙動と貫入抵抗値の関係



(a) スランプ値 Sl.　(b) 水セメント比 W/C

(c) 細骨材率 s/a　(d) 粗骨材の最大寸法 φ

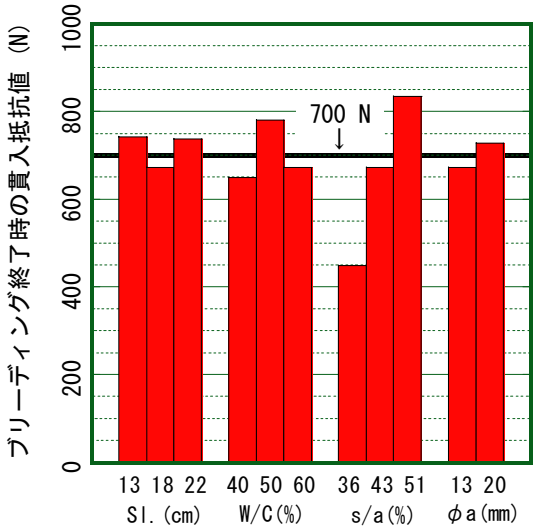
図－５　貫入抵抗値と経過時間の関係

を示す。図中にはブリーディング終了時刻(JIS A 1123によるブリーディングが認められなくなった時期)も[ ]内に示した。同図からは，測定した範囲において，何れの試料でも貫入抵抗値は時間の経過とともに線形的に増加する傾向が認められる。

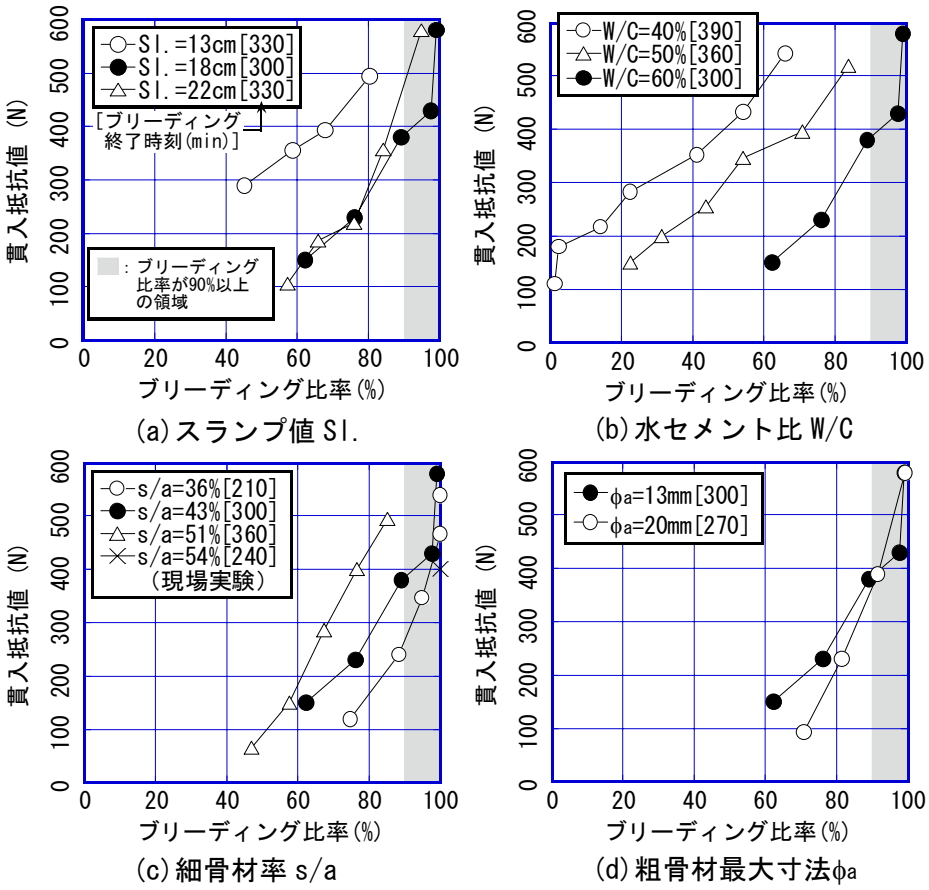
また，本試験器では，600Nを越える貫入抵抗値を測定することはできないが，ブリーディング終了時の貫入抵抗値は600Nを上回るものが多く見られた。そのためこの線形の関係を利用して，ブリーディング終了時の貫入抵抗値を推定した。得られた結果を**図－６**に示す。同図によれば，スランプ値Sl.，水セメント比W/C，粗骨材最大寸法φaの違いに関係なく，貫入抵抗値はおおよそ700Nの付近で一定となっている。ただし，細骨材率s/aが変化した場合にのみ，ブリーディング終了時の貫入抵抗値は大きく変化し，細骨材率s/aの増加に伴って，貫入抵抗値は増加する傾向が見られる。

次に，貫入抵抗の変化とブリーディング現象との関係を検討するために，貫入抵抗値とブリーディング比率との関係を**図－７**に示す。ここに，ブリーディング比率とは，各時刻におけるブリーディング水量の累計をブリーディング全水量で除した値の百分率を指す。図中にはブリーディング終了時刻も[ ]内に示した。

同図中の網掛け部分は，ブリーディング比率が90%以上の領域を示すが，ブリーディング比率が90%を越えると，貫入抵抗値が急激に増加し，90%以下の領域における線形な関係から外れる傾向がある。また，ブリーィング終了時刻付近ではブリーディング水量が少量となる点，および真空脱水の施工継続時間を考慮して，本報では，ブリーディング比率が90%となる時点をもって真空脱水処理開始時期の対象とす



図－６　ブリーディング終了時の貫入抵抗値の推定値



図－７　貫入抵抗値とブリーディング比率の関係

る。

脱水開始時期の判定にブリーディング比率(90%)を用いることで,真空脱水処理効果の低下要因となる処理終了後のブリーディング水量は,ほぼゼロとなることを確かめている[3)]。

４．２　施工現場での確認実験

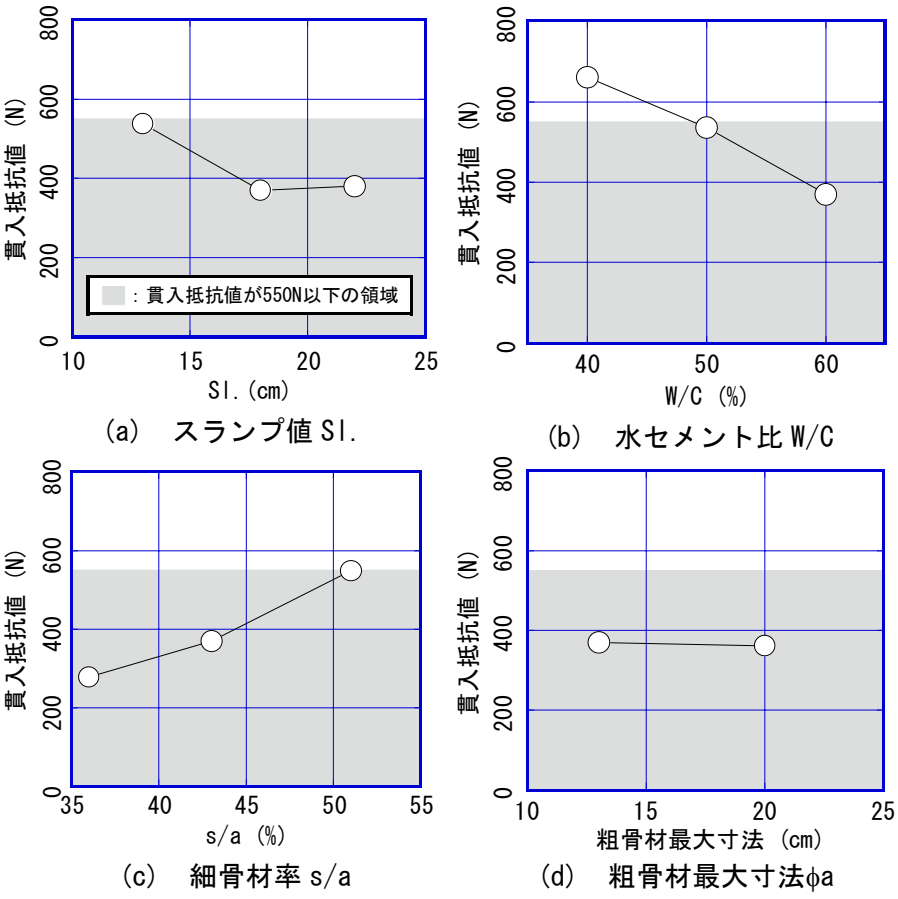
写真－２に，現場での測定状況を示す。**図－５(c)**および**図－７(c)**には，現場実験の測定結果を併示した。ブリーディング試験(JIS A 1123)は,荷下ろし時に採取したコンクリートを用いて,現場と同一雰囲気(**表－１**中の施工時季参照)で行った。現場実験ではブリーディング終了時刻(JIS A 1123によるブリーディングが認められなくなった時期)が打設後240minであり,ブリーディング比率が100%における貫入抵抗値が400Nであった。現場実験(貫入抵抗値400N程度)において，ブリーディング比率が100%における貫入抵抗値が室内実験(貫入抵抗値600N程度)と異なった理由として，以下の点が挙げられる。すなわち，生コンプラントから現場までのコンクリートの運搬(輸送)時間は約60minであり,この接水後の経過時間が両者で異なる。また，施工現場の都合上，ブリーディング試験開始時期と現場スラブの打設終了時期が異なっていたことなども原因と考えられる。この点については，今後，更に検討を行う必要がある。

また,現場施工時には,貫入抵抗値が550Nの時点まで待って真空脱水処理が行われた。これは，本施工現場おいて，ブリーディングが終了していても作業者が網下駄を履いてコンクリート上に乗ることができなければ作業ができなかったためである。このことから，コンクリート上での作業が可能となる貫入抵抗値550Nも真空脱水処理の開始時期に対する必要条件となる。

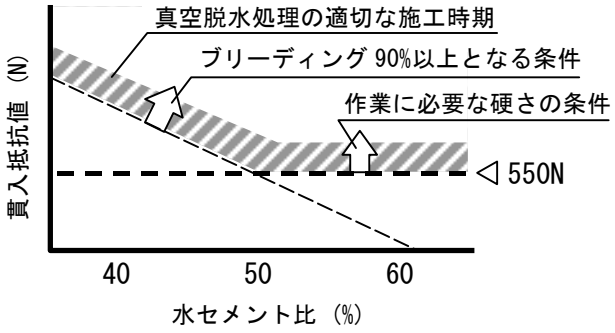
４．３　真空脱水処理の適切な開始時期

図－８にブリーディング比率 90%における貫

写真－２　現場での測定状況



図－８　ブリーディング比率が 90%における貫入抵抗値



図－９　真空脱水処理の適切な開始時期の判定図

入抵抗値と各要因の関係を示す。同図の網掛け部分は,貫入抵抗値が 550N 以下の領域を示している。貫入抵抗値がこの領域にある場合，前記のように,現場では作業ができないことになる。水セメント比 W/C の要因を除けば，真空脱水開始時期の決定には，この貫入抵抗値が支配的要因となることがわかる。一方,水セメント比 W/C の影響を示した**図－８(b)**によれば，W/C が 50%以下の場合には W/C の低下とともに貫入抵抗値を引き上げる必要がある。

以上の結果を概念図に表せば，**図－９**のようになる。また，既往の研究（**図－１**）[3]より，処理の開始が極端に遅れると改善効果が低下するため，上記条件を満たすなるべく早い時期に真空脱水処理を行う必要があると言える。

しかし，本報で述べた，現場実験の結果は限られたデータであり，また，真空脱水の適切な開始時期の貫入抵抗値は，コンクリートの運搬時間，運搬方法，スラブ厚さ，締固め方法，雰囲気などの違いによって変動する可能性もある。この点については，今後更なる検討が必要である。

５．まとめ

1)本実験で試作された改良型プロクター貫入試験器を用いることにより，真空脱水処理の適切な開始時期を判定することができそうである（**図－９**参照)。

2)床スラブ下地に使用される水セメント比50%以上の通常のコンクリートであれば，真空脱水処理の適切な開始時期は，改良型プロクター貫入試験による貫入抵抗値がおおよそ550Nとなる時点と見なすことができる。

3)水セメント比が50%以下の場合には，水セメント比の低下に伴い，抵抗値を若干引き上げる必要がある。

4)真空脱水の適切な開始時期を判定するための貫入抵抗値については，コンクリートの運搬時間および運搬方法，スラブ厚さ，締固め方法,雰囲気などが影響する可能性もあるため,今後この点についても検討を進める必要がある。

［謝辞］

試験器の製作にあたり，中川浩希氏（三重大学技術官）の助力を得た。現場実験においては石田哲将氏（(株)建和）の助力を得た。竹本油脂㈱からは高性能AE減水剤の，㈱マエックスからは骨材の提供を受けた。また，実験全般においては，山口武志氏（山口技研)，堀新吾氏（三井ホーム(株)),小林広実君(三重大学大学院生)のご協力を得た。付記して謝意を表する。

［参考文献］

1)和藤浩，村松昭夫，山口武志，畑中重光：真空脱水締固め工法による建築床スラブコンクリートの性能改善，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.2，pp.1393-1398，1999

2)和藤浩，村松昭夫，山口武志，畑中重光：真空脱水締固め工法によるコンクリート床スラブの内部強度分布の改善，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.1321-1326，2000

3)和藤浩，畑中重光，山本景司，村松昭夫：床スラブコンクリートの真空脱水締固め工法における諸要因の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.391-396，2001

4)飛坂基夫：低水セメント比コンクリートのフレッシュ状態における物性，セメント技術年報，No.41，pp.261-264，1987