

コーン指数に関する2,3の考察について

吉 田 勲*

1. 緒 論

筆者など¹⁾は水田の地耐力を判定する一手段として、WESなどで軟弱地盤上における車両のトラフィカビリティ判定に使用されているコーンペネトロメータを使った。本機は円錐を貫入棒の先端につけ、土中に押し込み、乱さない土のコーン指数を求めるものである。コーン指数とは押し込みに要した力 P kg をコーン断面積で除した値である。コーン指数とは一体何を意味するか現在のところ不明である。そこで筆者はコーン指数の意味解明の一歩として、コーン貫入により乱される土の範囲、コーン指数 (I_c) と圧縮指数 (C_c)、一軸圧縮強度 (q_u)、乾燥密度 (γ_d)、湿潤密度 (γ_t)、含水比 (W)、間げき比 (e) などの諸相関関係を土質を変えて調べた。また、筆者の使用したコーン断面積は 3.2cm^2 であり、このコーンで求めたコーン指数 (I_{c3}) と他の良く使用されている断面積 6.5cm^2 で求めたコーン指数 (I_{c6} , いずれも先端角 30°) との関係も土質を変えて求めた。

2. 実験と考察

1) コーンの影響範囲

コーン貫入により影響される範囲を知ることはコーン貫入間隔を知る上にも重要なことである。そこで筆者はコーンの影響範囲を知るために、粒径 $0.075\sim 2.00\text{mm}$ の砂を用いて以下のような実験を行なった。

実験には縦 30cm 、横 40cm 、奥行 3cm の片面ガラス張りの実験槽を作り、ガラスに 1cm 間隔でソウメンを張りつけ、実験砂を入れ、先端角 $\beta=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 124^\circ, 180^\circ$ の模型コーンを貫入し、その時の土の挙動を写真にとり、2次元的に解析した。1例として、

写真-1に先端角 $\beta=180^\circ$ のコーンを $\gamma_d=1.45\text{g/cm}^3$ 、 $W=31.1\%$ の状態の砂に貫入した場合を示す。実験より得た写真をもとに、 X をコーン中心より水平方向の最大影響距離、 Y をコーン先端より垂直方向の最大影響距離として、コーン先端角 β によらず X/r 、 Y/r (r : コーン

の半径) を図-1に示す。図-1(a)は $\gamma_d=1.45\text{g/cm}^3$ 、 $W=3.11\%$ 、(b)図は $\gamma_d=1.34\text{g/cm}^3$ 、 $W=0$ の場合の試験結果を示す。図より、 X/r 、 Y/r の両曲線は $\gamma_d=1.45\text{g/cm}^3$ のとき、 $\beta=60^\circ$ 、 $\gamma_d=1.34\text{g/cm}^3$ のとき $\beta=90^\circ$ で交っている。両図より $\beta=60^\circ\sim 90^\circ$ より右側では側方に対する影響範囲は垂直方向に対する影響範囲は垂直方向に対するそれよりも少く、左側では逆になって

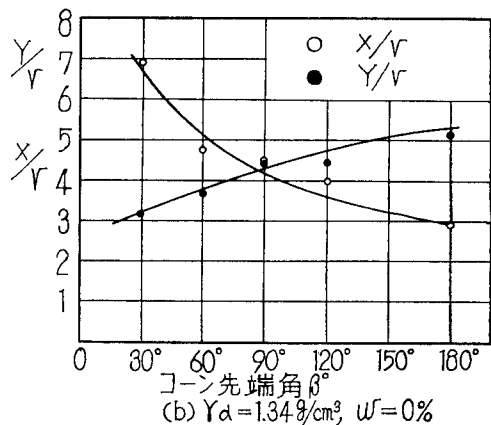
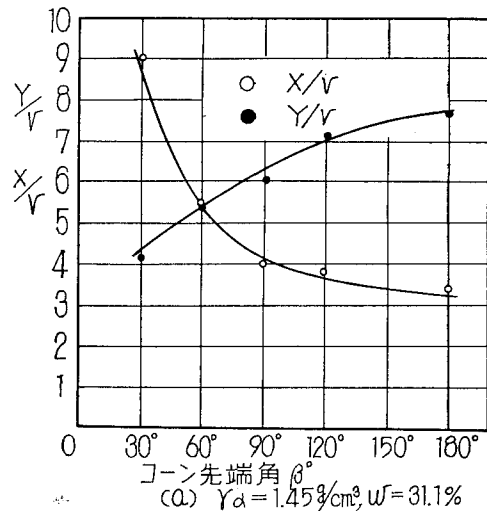


図-1 コーン貫入により影響される範囲(砂地盤の場合)

* 九州大学農学部

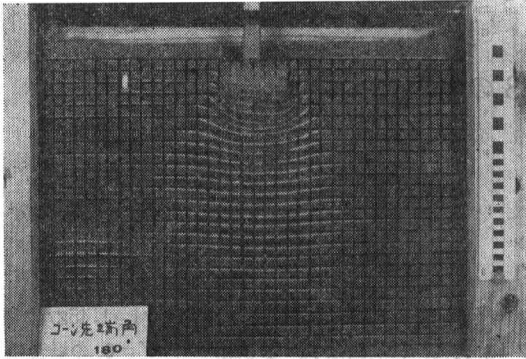


写真-1 粒径0.075~2mmの砂 ($\gamma_d=1.45\text{g/cm}^3$, $w=31.1\%$) 中に先端角 $\beta=180^\circ$ のコーン貫入時の砂の挙動

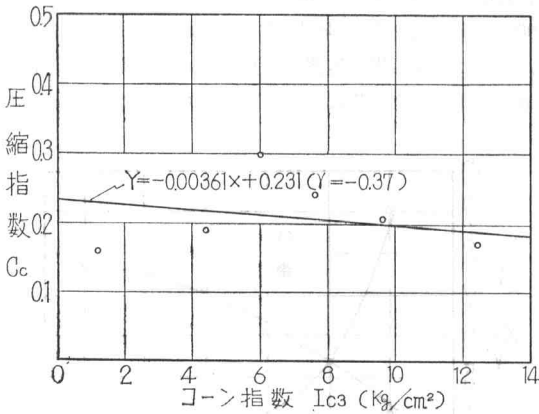


図-2 コーン指数と圧縮指数の関係 (砂質粘土ローム, 九大人工ホ場土)

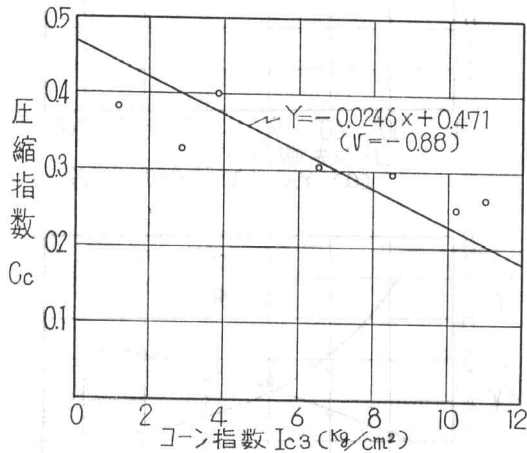


図-3 コーン指数と圧縮指数の関係 (砂質粘土ローム, 九大人工ホ場土)

いる。ゆえに $\beta=60^\circ\sim 90^\circ$ の右側では圧縮型, 左側では側方流動型と呼んで良いと思われる。筆者等の使用しているコーンの先端角は 30° であるから側方流動型に入り, 図より最大影響範囲は $X/r=9.0$, $Y/r=7.7$ となる。したがってコーン貫入時の水平間距離は少くとも半

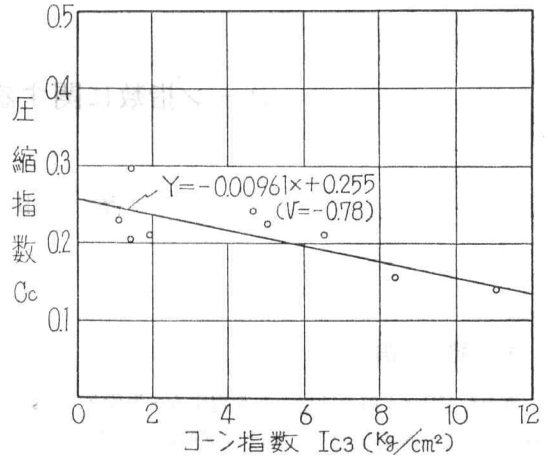


図-4 コーン指数と圧縮指数の関係 (シルト質粘土ローム, 三滞沖積土)

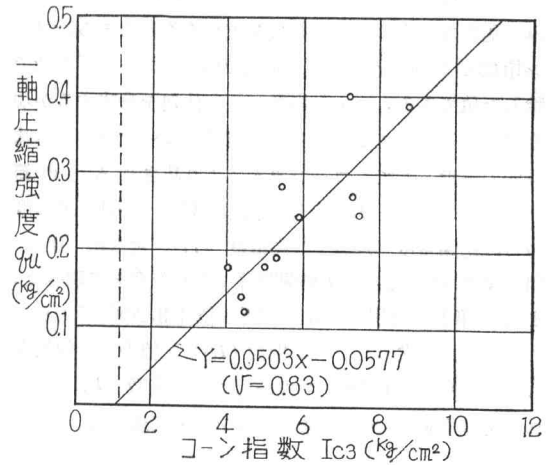


図-5 コーン指数と圧縮指数の関係 (砂質粘土ローム, 九大人工ホ場土)
図中の点線はペネトロメータ自重による適用限界で $I_c=1.112\text{kg/cm}^2$ である

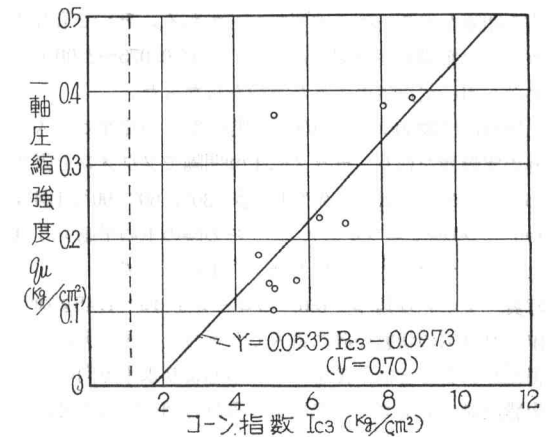


図-6 コーン指数と圧縮指数の関係 (粘土質 (ローム, 九大人工ホ場土))

表-1 コーン指数と圧縮指数

土性	X	Y	標本数	相関係数	$\rho=0$ の検定	回帰直線	備考
砂質粘土ローム (九大人工ホ場) 粘土質ローム (九大人工ホ場) シルト質粘土ローム (三潞沖積土)	コーン指数 $I_{c3}(\text{kg/cm}^2)$	圧縮指数 c_c	9	-0.37	1.053	$Y = -0.0361X + 0.231$	$t_{0.05} = 2.365$
			7	-0.88	4.413 非常に有意	$Y = -0.0246X + 0.471$	$t_{0.01} = 4.032$
			10	-0.78	3.524 非常に有意	$Y = -0.0096X + 0.255$	$t_{0.01} = 3.355$

表-2 コーン指数と一軸圧縮強度

土性	X	Y	標本数	相関係数	$\rho=0$ の検定	回帰直線	備考
砂質粘土ローム (九大人工ホ場) 粘土質ローム (九大人工ホ場) 砂質ローム (九大人工ホ場)	コーン指数 $I_{c3}(\text{kg/cm}^2)$	一軸圧縮強度 $q_u(\text{kg/cm}^2)$	11	0.83	4.470 非常に有意	$Y = 0.0503X - 0.0577$	$t_{0.01} = 3.250$
			10	0.70	2.771 有意	$Y = 0.0535X - 0.0973$	$t_{0.05} = 2.306$
			18	0.70	3.920 非常に有意	$Y = 0.0525X - 0.1013$	$t_{0.01} = 2.921$

表-3 I_{c6} , I_{c3} の土性別相関関係

土の分類	標本数	相関係数	回帰直線
三潞沖積土* (福岡県)	110	0.78	$I_{c6} = 0.705I_{c3} + 0.091$ $I_{c6} = 0.705I_{c3} + 0.091 \pm t\sqrt{(0.039 - 0.0188I_{c3} + 0.00294I_{c3}^2)0.904}$
砂質粘土ローム (九大人工ホ場)	106	0.80	$I_{c6} = 0.792I_{c3} + 0.466$ $I_{c6} = 0.792I_{c3} + 0.466 \pm t\sqrt{(0.076 - 0.026I_{c3} + 0.00255I_{c3}^2)1.347}$
粘土質ローム (九大人工ホ場)	110	0.76	$I_{c6} = 0.735I_{c3} + 0.637$ $I_{c6} = 0.735I_{c3} + 0.637 \pm t\sqrt{(0.071 - 0.0288I_{c3} + 0.00336I_{c3}^2)1.703}$
砂質ローム (九大人工ホ場)	102	0.89	$I_{c6} = 0.776I_{c3} + 0.546$ $I_{c6} = 0.776I_{c3} + 0.546 \pm t\sqrt{(0.066 - 0.0169I_{c3} + 0.00127I_{c3}^2)1.195}$
粘土質ローム (九大人工ホ場)	102	0.89	$I_{c6} = 0.799I_{c3} + 0.120$ $I_{c6} = 0.799I_{c3} + 0.120 \pm t\sqrt{(0.046 - 0.0146I_{c3} + 0.00144I_{c3}^2)1.126}$
砂質ローム (佐賀県小城市水田土)	93	0.78	$I_{c6} = 0.664I_{c3} + 0.559$ $I_{c6} = 0.664I_{c3} + 0.559 \pm t\sqrt{(0.046 - 0.0204I_{c3} + 0.00296I_{c3}^2)1.046}$

* 三潞沖積土は 粘土, シルト質粘土ローム, ローム, シルト質ローム, 砂質ローム等の種々の土よりなっているが, 中でもシルト質粘土ロームが多い。

tは, スチューデント数

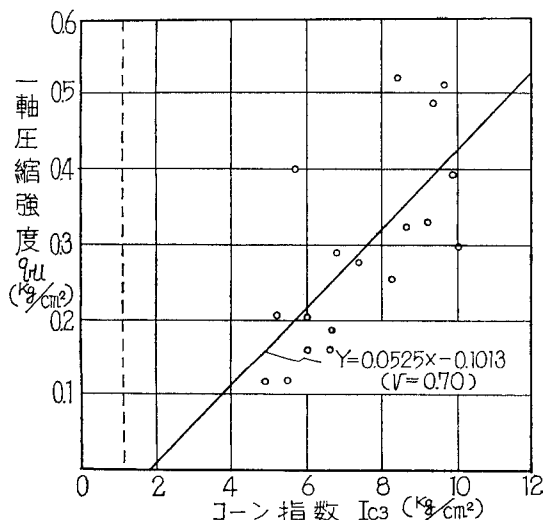


図-7 コーン指数と圧縮指数の関係(砂質ローム, 九大人工ホ場土)
図中の点線はペネトロメータ自重による適用限界で $I_{c3} = 1.112 \text{kg/cm}^2$ である

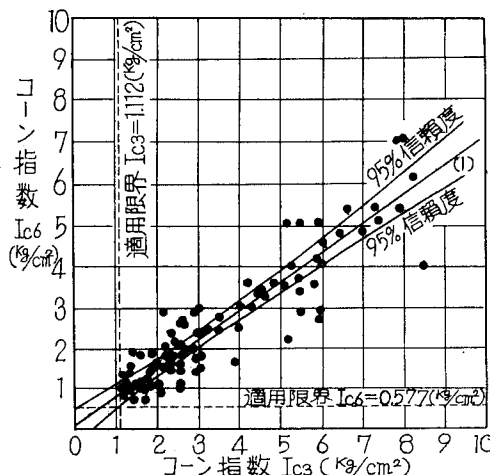


図-8 I_{c6} と I_{c3} の相関, 三潞ホ場における I_{c3} と I_{c6} の相関

(1) $I_{c6} = 0.705I_{c3} + 0.09$

図中の点線はペネトロメータ自重による適用限界 $I_{c6} = 0.577 \text{kg/cm}^2$ $I_{c3} = 1.112 \text{kg/cm}^2$

径の9倍はなれていることを要す。以上は0.075~2mmの砂を用いた試験結果であり、粘性地盤にそのまま適用するには問題もあるが一応の目安となると考える。

2) コーン指数と圧縮指数

3種類の土をバケツの中で水を混ぜ、かくはん機でドロドロにし、自然乾燥させて、種々の強度の試料を作り、圧縮試験機を使用して圧縮指数を求めた。実験結果をもとに、横軸にコーン指数 (I_{c3})、縦軸に圧縮指数 (C_c) をプロットすると図-2~4となった。各回帰直線、相関係数 (r) を求めると表-1となる。いま相関係数の有意性を検定すると(表-1) 使用した試料のうち砂質系の土の場合、相関が見いだせなかった。

3) コーン指数と一軸圧縮強度

2) で使用した土を現場にて、thinwall tube で採土し、その近くでコーン指数を測定した。実験室にて、一軸圧縮試験を行ない、一軸圧縮強度 (q_u) とコーン指数との相関を求めると表-2のごとくなり、各々の土で相関が認められた。

4) コーン断面積 3.2cm², 6.5cm² の相関

コーン断面積 3.2cm², 6.5cm² で求めたコーン指数をそれぞれ I_{c3} , I_{c6} とし、6種の土につき相関関係を調べると表-3のようになった。

いま、 I_{c3} , I_{c6} との関係を次式で表わせるとする²⁾。

$$I_{c6} = AI_{c3} + B \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 A , B は係数

土質により係数 A , B は異なり、表-3より、砂質ロームで $A=0.6\sim 0.7$, $B=0.5\sim 0.6$, 粘土質ロームで $A=0.7\sim 0.8$, $B=0.1\sim 0.6$, 砂質粘土ロームで $A=0.8$, $B=0.5$ 位となる。図-8に三瀧ホ場における I_{c6} と I_{c3} の相関を示す。表-3の三瀧ホ場における I_{c6} , I_{c3} の関係式より求めた I_{c6} と実測した I_{c6} との差のばらつきは I_{c3} が大きくなるにつれて増大することは図-8よりわかる。コーン指数測定の精度は個人によりまちまちであることは容易に推測出来る。この原因の一つとして個人の体重の差があげられる。測定精度は、その人がいかにスムーズにコーンを貫入出来るかにかかっているの

である。そこで人間によりコーンをなめらかに貫入可能な上限を体重/断面積とする。いま 60kg の人の測定可能な最大コーン指数を求めると $60/3.24 = 18.52 \text{kg/cm}^2$ となる。この値を表-3の各式に代入し、信頼係数90%, 80% ($t_{0.10}$, $t_{0.20}$) の場合の信頼区間を求めると表-4となる。したがって、表より10回に1回の例外を除くとコーン指数のパラツキは ± 1.429 の範囲内にある。

表-4 I_{c3} による I_{c6} 推定の信頼区間

土 性	信 頼 区 間	
	信頼係数=10%	信頼係数=20%
三瀧沖積土(福岡県)	± 1.320	± 1.025
砂質粘土ローム (九大人工ホ場)	± 1.257	± 0.976
粘土質ローム(九大人工ホ場)	± 1.429	± 1.110
砂質ローム(九大人工ホ場)	± 1.461	± 1.134
粘土質ローム(九大人工ホ場)	± 0.917	± 0.712
砂質ローム(佐賀県)	± 1.044	± 0.811

5) 乾燥密度, 湿潤密度, 間げき比, 含水比とコーン指数との関係

三瀧ホ場で採土した49の標本をもとに γ_d , γ_t , e , w と I_{c3} との相関を調べると表-5のようになった。相関係数 r の有意性検定より、湿潤密度を除き、他はすべて、 I_{c3} と高い相関が認められた。

3. 結 論

以上のことから以下のことが要約出来る。

- a) 砂にコーン貫入した場合の土の挙動によりコーンの型を分けると圧縮型と側方流動型に分類出来る。この境界の角度は $\beta = 60^\circ \sim 90^\circ$ である。 $\beta = 30^\circ$ のコーンの最大影響範囲は $X/r = 9.0$, $Y/r = 7.7$ である。
- b) コーン指数と圧縮指数とは粘質土で有意な相関が認められた。
- c) 一軸圧縮強度とコーン指数の間にも全試料土につき相関があった。
- d) I_{c6} と I_{c3} の間には(1)式のような関係があり、係

表-5 コーン指数 I_{c3} と乾燥密度, 湿潤密度, 含水比, 間げき比の相関関係(三瀧ホ場土)

X	Y	相関係数	$\rho=0$ の検定	回 帰 直 線	備 考
コーン指数 I_{c3} (kg/cm ²)	乾燥密度	0.68	6.362 非常に有意	$Y = 0.022X + 0.962$	$t_{0.01} = 2.689$ $t_{0.05} = 2.017$
	湿潤密度	0.10	0.692	$Y = -0.002X + 1.67$	
	含水比	-0.65	4.456 非常に有意	$Y = -1089 X + 59.59$	
	間げき比	-0.71	6.911 非常に有意	$Y = -0.043X + 1.560$	

注 三瀧ホ場土は粘土, シルト質粘土ローム, ローム, シルト質ローム, 砂質ローム等種々の土よりなっているが, シルト質粘土ローム, 粘土質ロームが中でも多い。

数 a , b は土により異なる。

以上コーンペネトロメータにより求めたコーン指数 I_{c3} と土の諸性質との相関を調べた。コーンペネトロメータは使用が簡単であり、しかも深いところの土の性質を乱すことなく、現場で測定できる特点がある。しかし測定には押し込み速度の不一致による測定誤差が入ってくる。これをなくするためには一定速度で貫入させる手

段が必要である。今後はコーンの角度、断面積、貫入速度などの諸関係を究明したい。

参考文献

- 1) 藤川武信他3名：ホ場地盤の含水率と機械の走行に関する研究，九大農土質理工学研報第12号
- 2) 同上

土 粒 子

第9回国際土壌学会に出席して

4年に1回の間隔で開かれる International Congress of Soil Science はその第9回をことし(1968年)の8月南オーストラリアの Adelaide で開催したが、筆者はたまたまそれに参加する機会を得、世界各国から集まった土壌学者の研究発表をそこで親しく見かつ聞くことができた。内容の報告は別に投稿させて戴くとしてここではその時の印象の一部をとりあえずお伝えしたい。

ひとくちに云って Soil Physics は数ある Soil Science の分野の中では biology と並んでいま最も活気ある部門という感じをうけた。これは本誌が土壌物理研究会の機関誌だと云うのでそれにおもねって云うのでは無論ない。

筆者の耳に間違いがなければ開会式当日の ISSS 会長の冒頭演説でもそのことが強調されたし、7日間に亘る会議に発表された300余りの論文のうちその3分の1が土壌物理に関係をもつものであったこともその証拠であり、また、発表と討論の模様をあちこち拾い歩きして聞

いた筆者の体験からもそれはまさに実感であった。

土壌ならびに作物における水の移動の問題で30題、吸水と保水の問題で6題、カンガイ排水における土壌とその Salinity の問題で15題、土壌構造と Polymer の問題で3題、界面の物理化学の問題で20題、土のかたさと根の伸長の問題で9題、測定手段の問題で6題、これに耕耘や作付や施肥・放牧など管理の段階で生じる土壌物理の諸問題で14題、これがその内訳であるが近年の世界の土壌物理研究の趨勢がおよそこの辺にあるかもこれによってほぼ察しがつくであろう。

筆者はこれらの話を聞いているうちに水田を中心に考える我が国の農業技術研究の特異性を次第にはっきりと思い知らされ、その特異性を生んだ背景にも思い至らざるを得なかったが、一方土壌物理でその分野を充実させてゆく力はわれわれこそがもっているのだという自信が同時に心に湧いてきたのも事実で、これはこの分野から初参加した者にとって一つの貴重な収穫であった。

(東大農 八幡敏雄)