

水田における大型機械の走行能と 土壌硬度相とについて

長 崎 明

(岩手大学農学部)

I ま え が き

水田の大型機械化農法が重要視されるにつれて、大型機械の走行能（トラフィカビリティ）と土壌の物理性との関係が問題となっている。

本研究は、この関係を示す指標として、コーン・ペネトロメーターによる水田の土壌硬度相を調査し、その実態を明らかにしようとしたものである。アメリカでは特に戦車の走行の可否を現場的に判定する方法として、コーン・ペネトロメーターを用いた研究⁽¹⁾がある。わが国の水田の土壌硬度相については庄司・長崎らの研究⁽²⁾があるが、それと大型機械の走行能との関係を求めた研究は全く見当たらない。本研究がこの種の問題解明に少しでも役立てば幸いである。

なお本研究にひきつづき行なった八郎潟南部干拓地における大型機械導入試験の詳細については別に報告の予定である⁽³⁾。

II 大型機械の走行不能現象

大型機械の走行性能を論ずる場合、1つはギリギリに動ける走行限界を求めようとする迫り方があり、他の1つは経済速度で走行しうる条件を求めようとするものである。わが国のように湿田を対象とすることが比較的多い場合には、まず前者が大きい問題となる。後者は田面上における作業能率あるいは道路上における交通性能の場合に問題となる。ここでは主として前者を対象とする。

一般に大型機械が走行不可能におちいる状態を現象的に見ると、次の4種の原因別類型に分けられる。

- ① スリップする。
- ② スリップしつつめりこむ。
- ③ めりこんでからスリップする。
- ④ めりこむ。

①の形は十分に硬い盤の上に、ごく薄いヘドロ層がある場合にみられる。

②の形は硬盤がそれほど硬くない時にみられる。すなわち、大型機械の足廻りは最初にまず若干スリップし、スリップしている間にますますめりこんで遂に走行できなくなる。

③の形は更に硬盤が軟弱な場合、あるいは硬盤が充分硬くてもその位置が深い場合におこる。すなわち大型機械の足廻りははじめからある程度めりこみ、ついでスリップをはじめ、遂には走行不能におちいる。

④の形は田面がかなりの深さまで全くのヘドロ状態の場合に見られ、大型機械の足廻りはスリップもせず、いきなりズブズブとめりこんでしまう。

以上のように大型機械の走行不能現象を、その原因によつて類型してみると、単なる表面の土壌硬度

ではなくて、かなりの深さまでの土壌硬度相との間に関係がありそうである。

わが国の水田の中で、大型機械の走行能が問題になるのは、主として大河川の沖積平野に拓けた湿地帯やヘドロ地帯で、かかる地帯では当然「めりこみ現象」が走行不能の主たる原因といえそうであるから、そういう点からみても、一応コーンによる貫入抵抗（土壌硬度）を指標としても差支えないものと認められる。

本研究では、先端角度 30° 、断面積 6.4 cm^2 のコーン・ペネトロメーターを用い、手動により静かに土中に挿入しつつ、 100 kg の環状力計を読み取り、深さ 70 cm まで、深さ 5 cm ごとの土壌硬度を測定して、土壌硬度相（p-h曲線）を求めた。なお土壌硬度は各地区3回測定し、その平均値を用いた。

III 水田の土壌硬度相の類型とホイール型トラクターの走行能

各調査地とも、その地区内で作業したことがあり、土壌条件を熟知しているオペレーターと共に圃場内を歩き、ホイール型トラクターの走行の可否・難易を指摘させた後、その土壌硬度相を測定した。ただし、ホイール型トラクターはーフ・トラックあるいは補助車輪など、接地圧をへらす装置を装着していない場合とし、またトラクターの馬力数、銘柄等による若干の差違を無視した。

本調査の結果を土壌硬度相の類型別に総括すると、第1～3表のとおりである。なお土壌硬度相の類別・命名は庄司らの研究⁽²⁾によつた。（脚注参照）

1. 山一つ型（第1表）

山一つ型は水田の土壌硬度相の中で最も典型的なものである。多くは山の位置が耕うん作業によってできた犁床（いわゆる耕盤）を示し、深さ $20\sim 35\text{ cm}$ 、厚さ $20\sim 30\text{ cm}$ であるが、中には砂層・礫層・固結粘土層あるいは鉄・マンガン集積層を示すことがある。

№1ないし3地区（第1図）のように、硬盤の山（最大硬度）が 4.5% 以下の場合には、その深さ・厚さの大小にかかわらず走行不可能である。№5ないし8地区（第2図）のように 6.5% 以上の場合にはおおむね走行容易であるが、№4地区（第1図）のように薄い砂層の位置が最大硬度となっていて、その前後が 4.5% にすぎない場合には、硬度が 7.0% でも走行困難である。

（脚注） 土壌硬度相の説明

山一つ型：土壌硬度測定深（本稿では 70 cm ）までに最大硬度を一つだけ示すもの。水田では普通この山は耕盤の位置にあたる。

山二つ型：測定深までに硬度の極大値（山）が2つ存在するもの。第1の山は一つ山型と同じく耕盤を示し、第2の山は固結粘土層や砂礫層によることが多い。

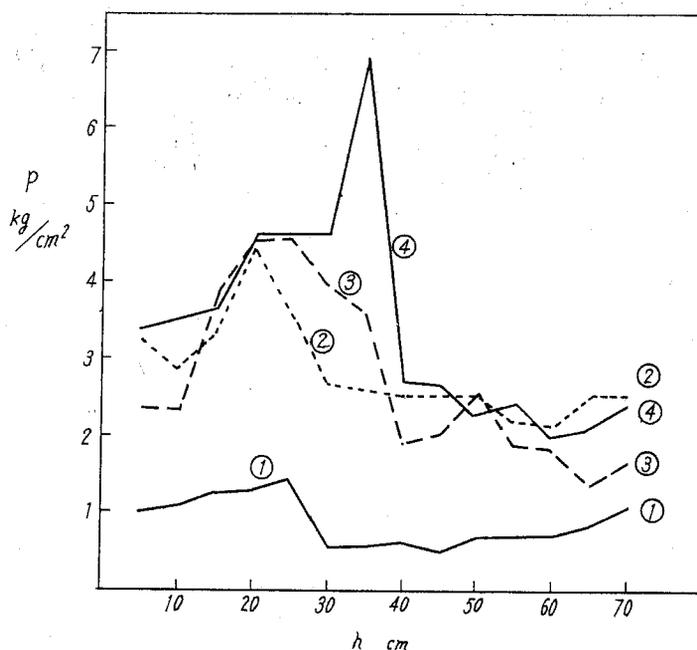
台地型（あるいは段丘型）：山一つ型の山が低いため明瞭な山を示さず、低い台地状を呈するものと、山二つ型の第1の山と第2の山が連なつて、高い台地状を呈するものがある。前者は洪積地帯の水田に、後者は干陸後間もない干拓地水田によくみられる。

山腹型：測定深までの間、深さを増すにつれて、土壌硬度も増し、山腹を登るような形を呈するもの。

以上の4型は測定深までの土壌硬度相について模式的に区分命名したものであるから、測定深が異れば当然その形状、したがって区分も異なる点に留意されたい。

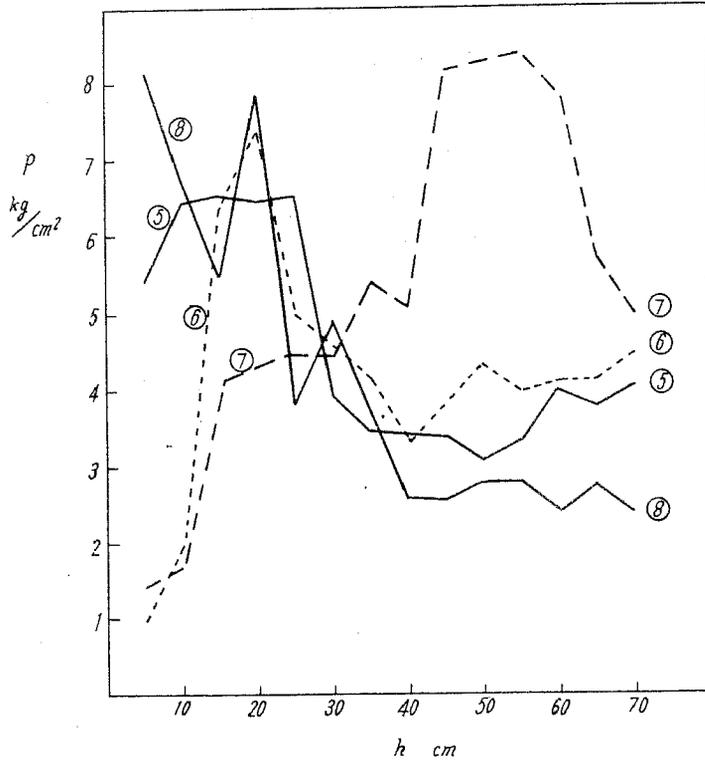
第1表 山一つ型の事例

地区 番号	硬盤の諸元			走行 状態	調査地	土壌硬度相
	深さ cm	硬さ %	厚さ cm			
1	2.5	1.5	2.5	否	青森県上北町	第1図
2	2.0	4.5	2.0	否	大曲市藤木	"
3	2.5	4.5	3.0	否	"	"
4	3.5	7.0	3	難	"	"
5	1.5	6.5	3.0	易	"	第2図
6	2.0	7.5	2.5	易	花巻市郊外	"
7	5.5	8.4	3.0	易	"	"
8	2.0	7.8	3.5	易	大曲市藤木	"



第1図 山一つ型（作業できない）

16.8地区（第2図）は深さ2.0cmに硬さ7.8%、厚さ3.5cmの硬盤があるほか、田面乾燥が極めて良いために、深さ5.5cmで8.1%を示しているが、これも山一つ型の変形で、これもまた大型機械の走行が極めて容易である。



第2図 山一つ型 (作業できる)

2. 山腹型 (第2表)

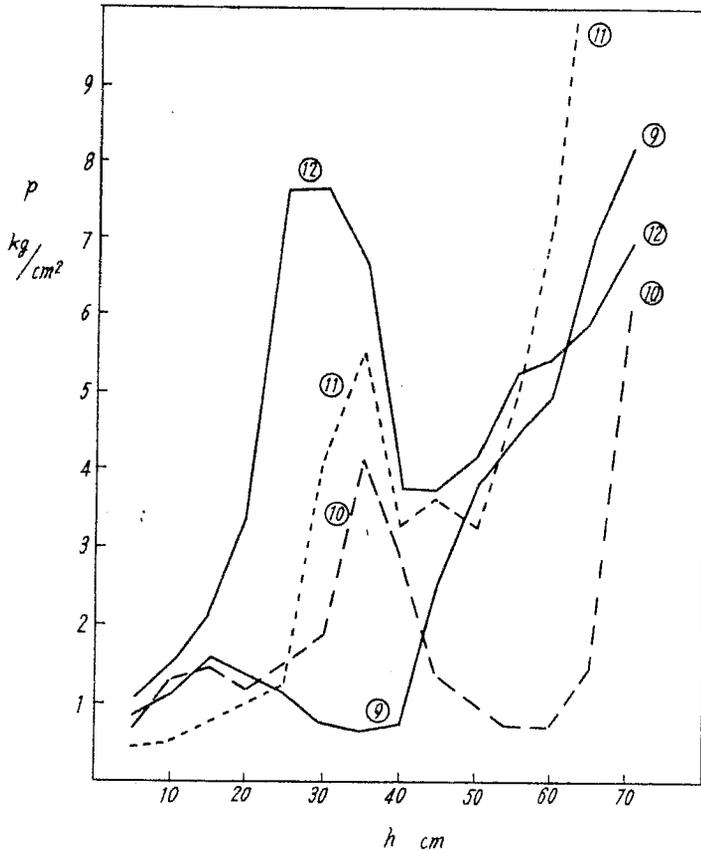
山腹型土壤硬度相は下層に厚い不透水性固結粘土層あるいは滞水性砂礫層が存在するため、湿田となっている水田によくみられる。この層が充分深い場合には山一つ型と同じく犁床が発達し、山腹部に山が一つできることがある。これを山一つ山腹型とよぶ。

第2表 山腹型の事例

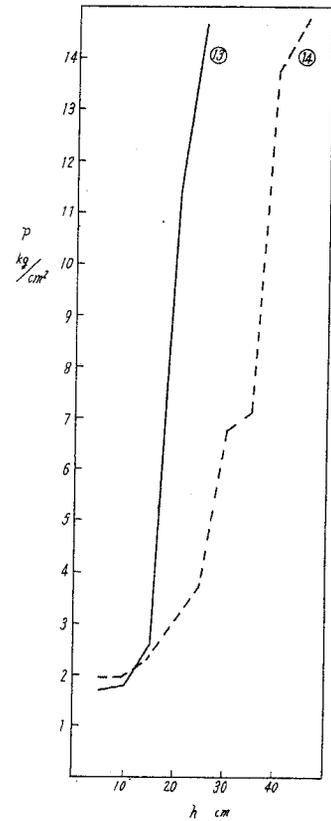
地区 番号	硬盤の諸元			下層盤の諸元			走行 状態	調査地	土壤硬度相
	深さ cm	硬さ %	厚さ cm	深さ cm	硬さ %	厚さ cm			
9	15	1.6	25	70<	8.0<	30<	否	青森県上北町	第3図
10	35	4.3	20	70<	6.0<	30<	否	"	"
11	35	5.6	10	70<	14.0<	30<	難	"	"
12	30	7.7	20	70<	7.0<	30<	易	花巻市郊外	"
13	—	—	—	25	14.0<	20<	易	青森県上北町	第4図
14	—	—	—	45	14.0<	40<	易	"	"

№.13および14（第4図）は深さ25~30cmに厚い砂層が存在し、硬度14%以上（環状力計の容量超過で測定不能）に達する山腹型の事例で、大型機械はこの層で支えられ走行容易である。この硬盤がこれ以上深いと走行困難におちいる。

№.9ないし12地区（第3図）は山一つ山腹型の事例で、№.9および№.10は硬盤の硬さが4.3%以下のため走行不能、№.11は5.6%であるが、その位置が深く、かつその厚さが薄いために走行困難、№.12は7.7%で走行容易となっている。



第3図 山一つ山腹型



第4図 山腹型

山腹型土壌硬度相で大型機械の走行容易の場合は、下層の盤が浅い位置に存在する特殊事例に限られ、多くは山一つ山腹型のように山と山腹とが充分離れていて、犁床によって大型機械が支えられるもので、山一つ型の場合に準ずると考えられる。

3. 山二つ型（第3表）

山二つ型は、山一つ型と同じく犁床による硬盤のほか、もう一つの山が見られる場合の土壌硬度相で、№.15（第5図）がその典型的な事例である。すなわち№.15は下層に存在する薄い砂層が第2の山となったもので、もしこの砂層が浅ければ山腹型となり、十分に厚ければ山一つ山腹型となる。この例では、第1の山が深さ30cm、硬さ10.3%、厚さ20cmで、大型機械はここで支えられ走行

第3表 山二つ型の事例

地区 番号	第1硬盤の諸元			第2硬盤の諸元			走行 状態	調査地	土壌硬度相
	深さ cm	硬さ %	厚さ cm	深さ cm	硬さ %	厚さ cm			
15	30	10.3	20	60	14.2	30	易	青森県上北町	第5図
16	5	6.9	10	50	6.5	50	易	大曲市藤木	"

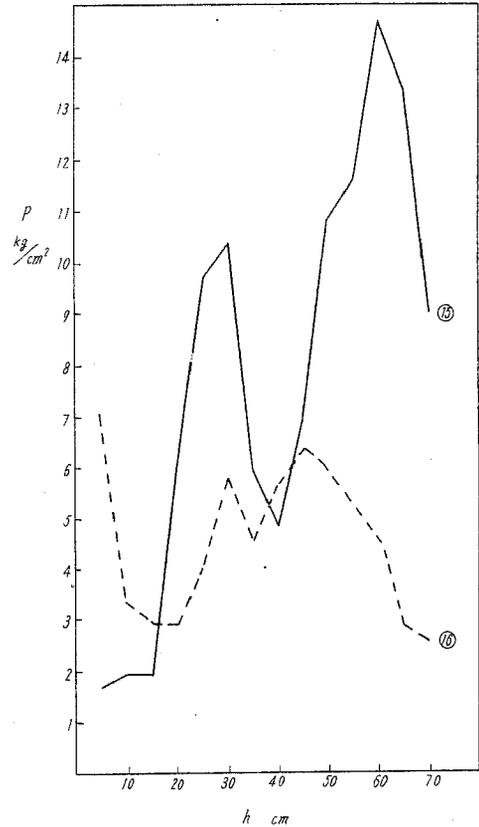
容易である。

№16 (第5図) は田面乾燥が極めて良く、深さ5cmに硬さ6.9%、厚さ10cm以下の薄い第1の山ができ、深さ50cmに硬さ6.5%、厚さ50cmの第2の山をもつものであるが、この山は固結粘土層の位置を示すもので、犁床による硬盤は深さ30cmに5.5%の山となつて現われている。いわゆる山二つ型の変形である。第1の山は厚さが薄すぎてこれだけでは走行不能と思われるが、犁床と第2の山とが重なつた厚い硬盤がその下にあつて、走行能を高めている。

大型機械の走行能と山二つ型土壌硬度相との関係は、山と山とが充分離れていれば、第1の山が山一つ型の場合に準ずると考えられる。

4. 台地型

水田の土壌硬度相の類型には以上3種のほかに、台地型あるいは丘陵型と称すべきものがあるが、今回の調査ではそのような類型の事例をみることができなかった。この型は山一つ型(第1図)の山が低いために、その下につづく下層土の土壌硬度と台地状に連らなつたものであるから、台地そのものの高さ(硬さ)が、大型機械の走行能に関係があるはずである。



第5図 山二つ型

IV ハーフ・トラック型およびクローラ型トラクターの走行能

八郎瀧南部干拓地第4工区の暗渠排水試験田において、ハーフ・トラックを装着したホイール型トラクター(フォードソン・デキスタ)および湿地用クローラ型トラクター(BD2)の運転試験を行ない、その走行能と土壌硬度相との関係を求めた。

供試圃場の土壌硬度相は、おおむね深さ10～20cmに硬度1.5～3.5%の軟い硬盤を有する山一つ型で、試験の結果明らかにした走行の可否と足廻りのめりこみ深さおよび硬盤の硬さとの関係は第6図のようである。

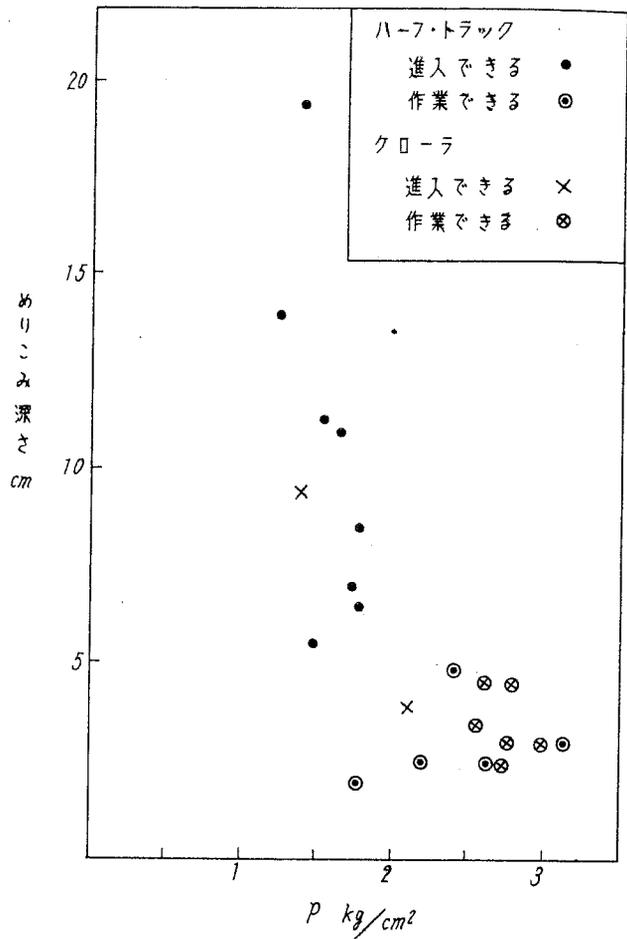
この図によれば、ハーフ・トラックを装着したホイール型トラクターは、土壌硬度1.5%以下、めりこみ深さ20cm以上では圃場に進入することが全くできないが、硬度1.5～2.0%、めりこみ深さ20～5cmでは進入はできてプラウイングができず、硬度2.0%以上、めりこみ深さ5cm以下となつてようやく耕起深さ15～20cm程度のプラウイングが可能である。

またクローラ型トラクターは硬度1.5%以下、めりこみ深さ10cm以上では進入できず、1.5～2.5%、めりこみ深さ10～5cmでは進入できて作業ができず、2.5%以上、めりこみ深さ5cm以下でようやく耕起深さ10cmの浅いローター・ベーター耕が可能である。

なお本試験では、ハーフ・トラック型にはプラウを、クローラ型にはローター・ベーターを装着していたが、作業機を逆にすればハーフ・トラックはもっと軟弱条件でも作業可能であろうと思われる。またハーフ・トラック型は進入しえても作業不可能の場合が多く、クローラ型は進入できさえすればおおむね作業も可能であったが、これも足廻りの相違というよりは、それぞれが装着した作業機の抵抗の大小によるものであろう。

V む す び

さて、大型トラクターの走行能は、①機械条件（重量・足廻り等）、②作業条件（作業機の種類、作業速度等）、③土壌条件（土壌硬度相等）、④技術条件（運転手の熟練度等）、その他によって異なるので、簡単に土壌硬度相だけによって論ずることは早急に過ぎるが、実態調査および運転試験の結果により、あえて拙速に結論づければ第4表のとおりである。なお、地表面からの硬盤の深さ（最大硬度を示す山の位置）は30cmより小、硬盤の厚さは15cmより大を要する。



第6図 大型トラクターの走行能と足廻りのめりこみ深さおよび硬盤の土壌硬度との関係

第4表 大型トラクターの走行能と硬盤の硬さ(%)

	進入できず	進入できるが 作業できない	作業困難	作業容易
ホイール型	? *	<4.5	4.5~6.0	6.0<
クローラ型	<1.5	1.5~2.5	2.5~3.0	3.0<
ハーフ・トラック型	<1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5<

* 本調査では明らかにできなかったが、恐らく3.0%以下であろう。

参 考 文 献

- 1) G.B. SCHOOLCRAFT, W.K. HOYD and C.R. FOSTER: Trafficability of Soils Studies, 第4回国際土質工学会Proceeding, VIII f 8, 206-208.
- 2) 庄司英信・長崎明・涌井学・石川武男: もぐら暗キヨに関する研究(第2報)、農業土木研究 第26巻第4号、181~186。
- 3) 浪瀬信義・長崎明・徳永光一: 八郎潟中央干拓地における耕地条件整備計画に関する報告、1. 経営区内の施設、特に排水暗キヨについて、農業土木学会、60~67。