



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

水田大区画化が初期用水量に与える影響

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-06-08 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 李, 尚奉, 千家, 正照, 伊藤, 健吾 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/5775

水田大区画化が初期用水量に与える影響

李尚奉・千家正照・伊藤健吾

生産環境整備学講座
(2001年7月19日受理)

Influence of enlarging field lot of paddy field on initial water demand

Sangbong LEE, Masateru SENGE and Kengo ITO

Department of Land and Water Engineering
(Received July 19, 2001)

SUMMARY

Recently in Japan, the paddy field area has been enlarged by means of unifying small segments to improve labor efficiency. However, the initial water demand shows a tendency to increase as the scale of this enlargement becomes larger. In this study, we observed an increasing distance of irrigated water when the initial water is irrigated in an enlarged paddy field. Furthermore, the observed values were analyzed to clarify the variations of ponding and infiltration depth during the irrigation using the water balance equation, which is based on the difference method. Our results show that the ponding and infiltration depth reaching the downstream end increases when the length of the field is expanded. Therefore, enlarged paddy fields have a greater initial water demand in comparison with the proportional increase in area of the field. Also, the increasing distance of irrigated water was influenced by the precision of the land surface level.

Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ. (66):11-17, 2001

要 約

近年、日本では省力化による労働生産性の向上を計るために水田圃場の大区画化が積極的に行われている。水田区画が大きくなり長辺および短辺が長くなると、水足進行距離の増大に伴って浸透量が増加し、初期灌水時における用水量と水足進行に影響を与えられと考えられてきた。本研究では区画の拡大が初期用水量に影響を与える要因を検討するため、2つの水田を対象として初期灌水後水足の進行状態を測定し、水収支式モデルを用いて分析した。その結果、水足の進行に必要な湛水深の増加が無視できない要因であることが明らかになった。また、田面均平度によっても水足の進行が影響される傾向が見られた。このことから、水田が大区画化され一耕区の面積が大きくなると、初期灌水時に全面湛水させるのに必要な用水量として圃場面積に比例した水量より多量の用水が必要であることが分かった。

I. はじめに

近年、水田農業を取り巻く環境が厳しさを増す中で、低コスト化および労働生産性を高める手段として水田圃場の大区画化が推進されている。一般に、水田の大区画圃場とは土地改良事業設計基準で標準としていた30aより大きい区画を示す。水田においての大区画圃場は耕地の大規模化と集団化、作業機械の大型化などを通じて、営農の効率化と土地生産性を飛躍的に向上させ大規模経営を可能とするものである。しかし、区画の大規模化に伴う田面均平度の変化によって取水、排水量に影響を与えること、また耕区の長辺および短辺長の拡大によって初期用水量が変化することが考えられる。特に、水田においての初期灌水はその必要量が日必要水量のピークであり、水利施設や用水量を計画する時にも重要である。初期灌水

の際はその土壌条件が灌漑普通期の水田とは違い、作土および心土ともに乾燥した畑地状態で行われる。すなわち、灌水された水の一部は浸透と蒸発によって損失し、残りの水が田面湛水として現れ水尻に向かって流下・進行する。このように水田における初期灌水は畑地のボーダ灌漑とその特徴が似ている。そこで、今まで水田初期灌水時の水足進行を表す式としてボーダ灌漑における積分形式の水収支式が用いられ、主に初期灌水時の水足進行に伴う浸透量の変化を中心とした分析が行われてきた。白井¹⁾は水足の速さを測定することによって、積分形式の水収支式の浸入式に必要な定数を決め、経過時間と水足の前進距離との関係を求めた。椎名ら²⁾は積分形式の水収支式における浸透量項をOstromeckiが提案した数式で置き換え、シロカキに必要な取水量や施設容量を検討した。楊ら³⁾は初期灌水時における水足前進距離の測定結果を積分形式の水収支式に適用しKostiakovの浸入式の定数を決め、水田長辺長と取水流量との関係を求めた。また、原口ら⁴⁾は差分形式の水収支式を用い水足進行式を求め、合理的な長辺長（以後、用水路と排水路間の距離を長辺長と呼ぶ）と水口間隔を検討した。しかし、これらの研究では灌水後、水足進行に伴って変化する湛水深の考察が十分ではなく、主に浸透量を中心とした分析が行われた。本報では、差分形式の水収支式を用い、初期灌水時の水足の進行に伴う湛水深と浸透量の変化に対して考察する。また、これらの変化に伴う初期用水量の変化や影響要因を明らかにすることにした。

II. 調査地区および対象圃場

調査は岐阜県の最南端に位置する高須輪中地区を対象として行った（図1）。高須輪中地区は海津郡海津町・平田町及び羽島市の一部にわたる、面積約4,400haに及ぶ木曾三川の最下流の地域である。対象圃場として海津町帆引新田内に面積約1.0ha（長辺長：74.5m、短辺長：138.0m）の湛水移植水田と面積約0.8ha（長辺長：55.6m、短辺長：138.0m）の乾田直播水田の栽培法が異なる2つの大区画圃場を対象とした（図2）。この地区の灌漑用水は、帆引揚水機場からパイプラインによって取水口まで送水されている。排水は落水口から小排水路へ自然排水され、最終的にはポンプによる機械排水が行われている。初期灌水の観測は平成9年度と10年度に行った。

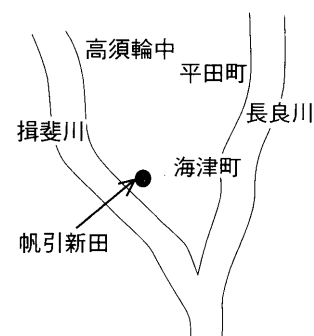


図1 調査地区の位置

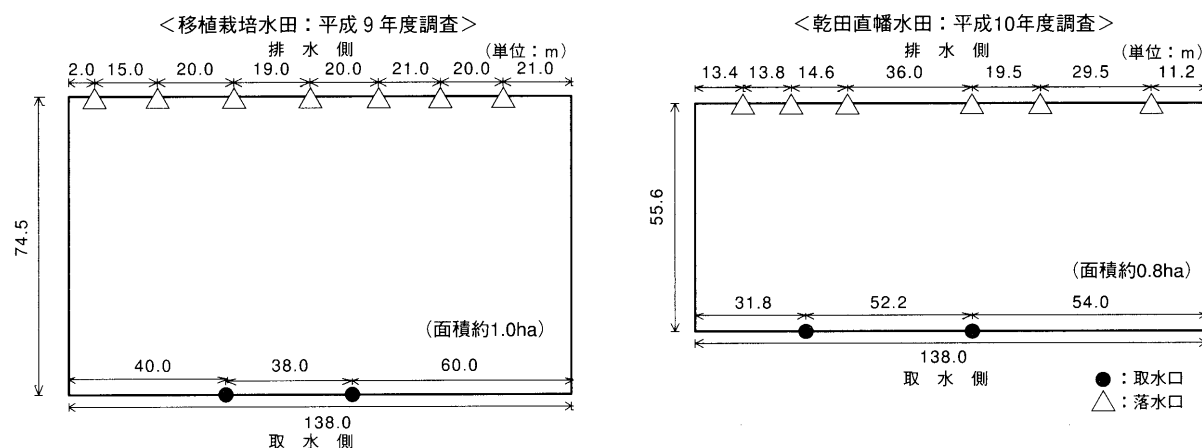


図2 各調査圃場の区画形状

III. 調査方法および分析方法

1. 初期灌水の測定

調査は図2のように面積約1.0haの湛水移植水田と面積約0.8haの乾田直播水田を対象として行った。移植水田は、平成9年5月7日に行われたシロカキ時の取水量を、乾田直播水田は平成10年6月11日行われた初期灌水時の取水量をそれぞれ観測した。

栽培初期の水管理は、湛水移植栽培は田植えをする前に田面均平度の向上や灌水後の水漏れを防止するためにシロカキ作業を行い、その際に必要となる灌水量を初期用水量とする。これに対して乾田直播栽培はシロカキや田植えを行わず、圃場面の均平化作業後畑状態の田面に直接播種し、発芽後灌水（初期灌水）して湛水状態にし、以後は普通の湛水栽培とほぼ同じ水管理を行うものである。各々の圃場に対して、初期灌水時に水足の進行状況、取水量、取水時間を測定し、その結果から水足の進行距離と到達時間の関係について分析した。また、初期灌水する直前に採土し、真比重、三相分布、粒度分析などの項目に対して室内実験を行った（表1）。水足の進行状況は、圃場面を10m間隔のメッシュ状で分割した交点にピンを設置し、取水後一定時間間隔で測定した。この結果から水足到達面積を短辺長の長さで割った値を水足の進行距離とした。また、取水前にピンを設置した地点のレベル測量を行い田面の均平度を測った。灌水開始後の各時間当たりの取水量については取水口に積算流量メータを設置して単位時間別の取水量および総取水量を測定した。また、最終的な湛水深は初期灌水終了直後、田面に設置した複数の杭から測定した。

2. 水足進行の分析モデル

初期灌水に必要な時間 t を規定する要因として圃場短辺長当たりの取水強度 q 、長辺長 L 、土壌条件 S 、湛水深 H などが挙げられ、さらに必要湛水深 H は取水強度 q 、長辺長 L によって変化すると考えられる。そこで、初期灌水時における水足の進行状況を表すために図3に示すような水足進行モデルを用いた。この図は横軸が水足進行距離（原点が水口）、縦軸が湛水深であり、図中に時刻 $T = (n-1) \cdot \Delta t$ と $T = n \cdot \Delta t$ における水足の進行状況を表している。すなわち、 Δt 秒間に圃場に供給された水 ($q_{n-1} \times \Delta t$) は圃場面からの浸透 ($P \times \Delta t \times L_{n-1}$) と蒸発によって損失し、残りの部分（図中の斜線部分）が田面上に残留し湛水する。浸透強度 P の時間的変化を実測することは困難であるため、取水完了直後の総取水量と田面湛水深の差から総浸透量を求め、灌水期間中に土壌面から一定強度の浸透が生ずるものと仮定した。また、田面湛水深は田面に均一に分布すると仮定する。このような仮定のもとに、水足進行中の蒸発の影響を無視すると取水後 $n \times \Delta t$ 時間における水足進行距離は以下の式で表すことができる。

$$L_n = \frac{H_{n-1} \times L_{n-1} + (q_{n-1} \times \Delta t - P \times \Delta t \times L_{n-1})}{H_n} \dots (式1)$$

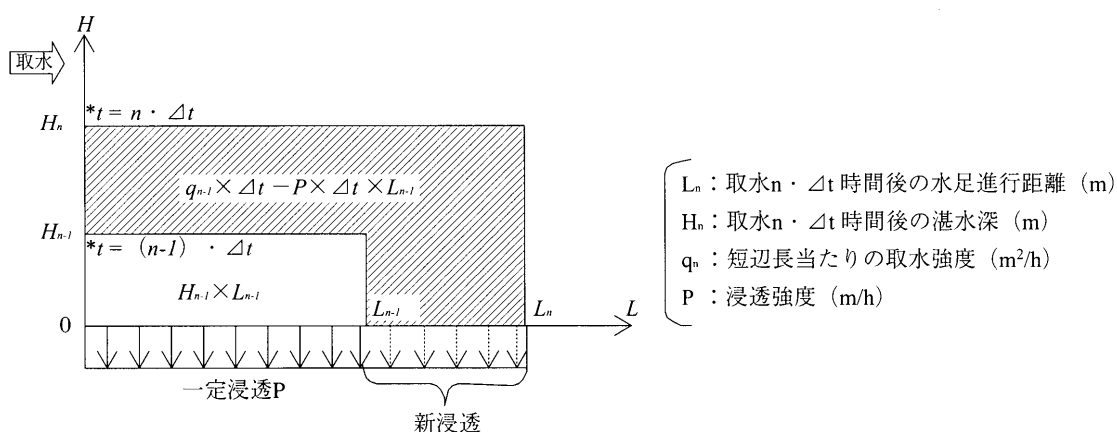


図3 水足進行モデル

IV. 実験の結果

1. 圃場の条件

初期灌水する直前に採土し土壌の物理性を分析した結果を表1に示す。各圃場の土性は湛水移植水田が0~20cmまで壤土、20~40cmまで植壤土、乾田直播水田が砂壤土であった。湛水移植水田においては、シロカキ前に耕起作業が行われたため乾田直播水田に比べて気相が大きくなっている。

表1 各圃場の土壌物理性
【湛水移植水田】

深さ (cm)		0～10	10～20	20～30	30～40
真比重		2.753	2.696	2.731	2.702
土性	国際法	壤土	壤土	植壤土	植壤土
三相分布 (%)	固相	35.2	41.9	35.2	47.1
	液相	39.3	42.7	42.7	42.3
	気相	25.5	15.4	22.1	10.6

【乾田直播水田】

深さ (cm)		0～10	10～20	20～30	30～40
真比重		2.640	2.667	2.676	2.666
土性	国際法	砂壤土	砂壤土	砂壤土	砂壤土
三相分布 (%)	固相	53.4	52.2	54.8	59.9
	液相	42.9	33.7	37.6	36.5
	気相	3.7	14.1	7.6	3.6

2. 田面の均平度

土地改良事業計画設計基準⁵⁾によると、均平作業の精度は10m格子状のレベリングによって平均田面からの標高差をもって表示している。全測点の高低差は、水稻栽培上の制約から少なくとも平均標高の±5 cm以内にあることが望ましいとされている。田面傾斜がある場合でも、±5 cm以内の標高差であれば、用水路側、排水路側での湛水深の差は10cm以内におさまられる。しかし、整地工事費や経年的な田面の不等沈下などを考慮して、全測点が±10cm以内にあり、そのうち80%以上が±5 cm以内におさまればよいことにする。圃場を排水路側と用水路側の2区に区分し、それぞれの区分について高低差が前記範囲内であるかを確認した。さらに、測量結果からシロカキによる均平作業を行う前の湛水移植水田の方が田面レベルの標準偏差が大きく田面の均平度が悪いことが分かる。

表2 初期灌水時における圃場の均平度 (単位: cm)

圃場	用水路側			排水路側			圃場全体 標準偏差
	最高	最低	平均	最高	最低	平均	
湛水移植	16.2	-8.2	1.3	5.7	-17.7	-1.3	5.6
乾田直播	1.6	-2.8	0.1	1.5	-1.1	-0.1	1.1

3. 水足の進行状況

初期灌水後水足の進行状況を図4に示す。水足の進行状況は、圃場面をメッシュ状に分割した交点にピンを設置し、スケッチを行うことによって測定した。また、本報での初期灌水は取水開始後水足が水尻(排水口)に到達するまでの時間とした。取水後水足の進行を示している図4から、湛水移植水田の場合取水後30～60分までは長辺(大区画水田の短辺)に平行して進んでいる傾向が顕著に現れている。しかし、その後標高の低い圃場の両側の短辺(大区画水田の長辺)に沿って水足が進行した。60～120分、120～180分では、その傾向が顕著になっている。これは、田面の均平度が原因となって水足の進行に影響を与えていると思われる。その反面、乾田直播水田の場合は湛水移植水田に比べ均等な水足の進行が観測された。

図5-(a)は取水強度の時間変化を、図5-(b)の水足進行距離を示している。図5-(a)における取水強度は単位時間当たりの取水量を短辺長で割って、単位辺長当たりの値で示した。図5-(b)の水足進行距離は湛水面積を短辺長で割った値で示した。特徴的な傾向として、取水開始から約30分経過した時点(図5-(b)で水足進行約10m時点)までは、湛水移植水田の取水強度が大きいにも関わらず乾田直播水田に比べ水足の進行が遅れていることが分かる。この原因として、湛水移植水田の初期土壌水分が小

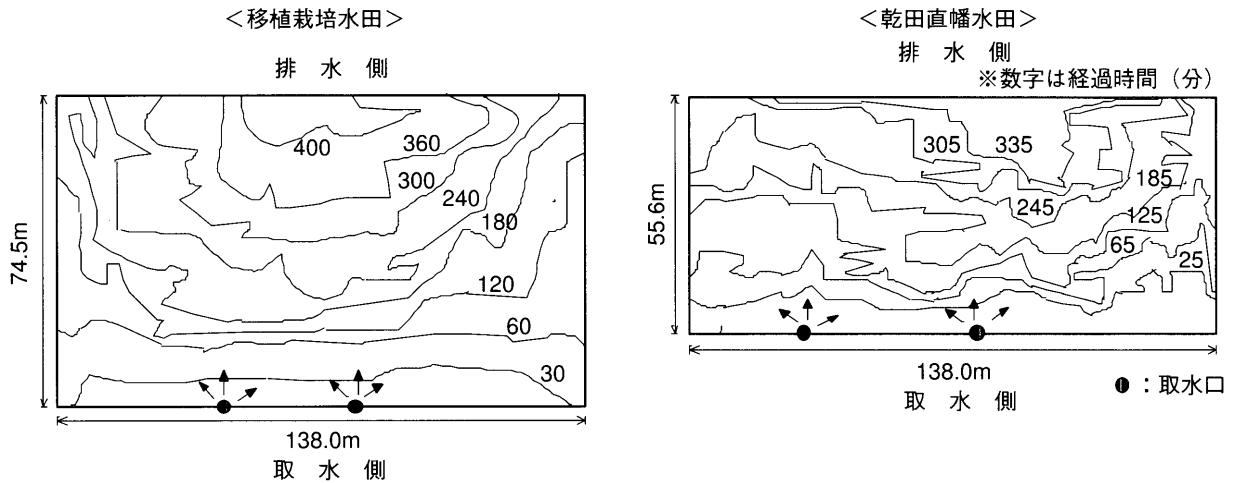


図4 水足の進行状況

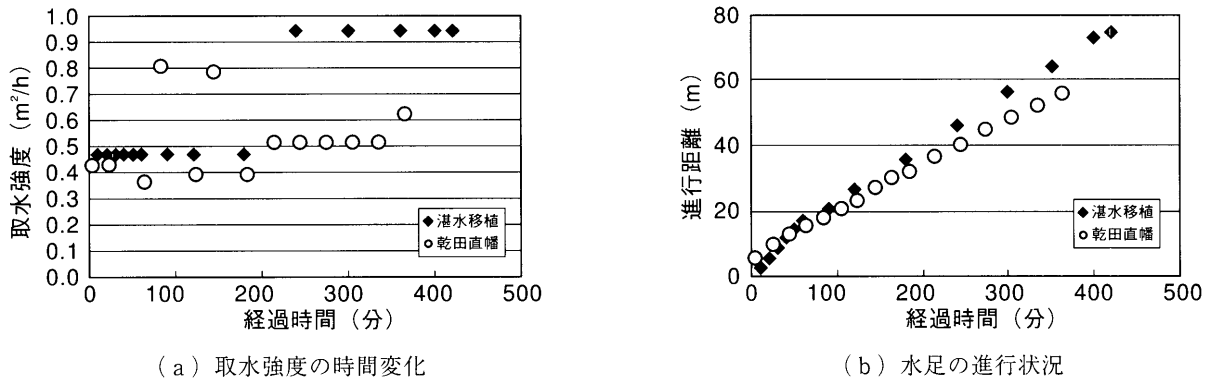


図5 取水強度の時間変化と水足進行距離

さく (表1 参照), 田面均平度が悪い (表2 参照) ことが考えられる。本報では, この原因を定量的に明らかにするために (式1) の水足進行モデルを用い, 水足の進行に伴う湛水深と総浸透量の時間変化について考察を行う。

4. 取水量・湛水深・浸透量の時間変化

湛水深と浸透量を水足進行モデルを用いて分析し, 水足進行距離との関係を図6に示した。ここで, 図中の取水量は水口からの取水された水量を水足が進行した面積で割って水深換算した値を示した。分析結果から両試験圃場とも, 水足が進行するのに伴って湛水深と浸透量が増加している。このことから, 水田区画が大きくなって長辺長および短辺長が長くなると水足到達のために必要となる湛水深と浸透量が増加するため, 面積の増加に比例した水量よりもっと多い初期用水量が必要であることが明らかである。また, 水足進行距離が約10mの時点での湛水深が湛水移植水田において約26mmとなり, 乾田直播水田の約13mmに比べて2倍となっている。これは, 均平度の比較的悪い湛水移植水田においては, この均平度を克服して水足が前進するためには, 灌水初期の段階で一定以上の湛水深が必要であることが予測される。また, 湛水移植水田の場合, 水足進行距離が約10mの時点で湛水深が急激に減少している。これは田面の均平度を克服した水が急激に移動し水足が著しく進行したことによって湛水深が減少したと予測される。さらに, 田面の水が前進するためには動水勾配が必要となり, 湛水深が増加することは水理的に推測できる。しかし, 水足の前進に伴う湛水深の変化を水理的・数学的に定式化することは非常に困難である。したがって, 今までの水足の進行を対象とした研究では湛水深の変化を一定とした計算が一般的であり, 湛水深に対する考察が十分ではなかった。しかし, 本実験では水足進行の実測データを分析することによって, 水足前進に伴う湛水深の変化を定量的に評価することが可能になった。

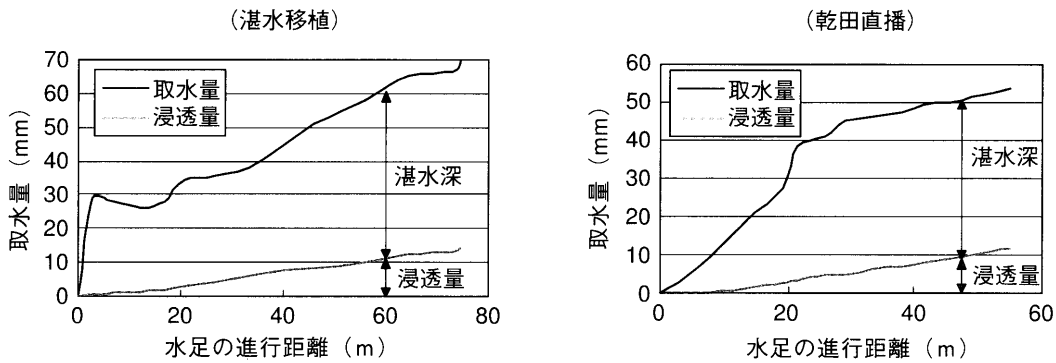


図 6 水足の進行による湛水深と浸透量の変化

5. 初期用水量

初期用水量の結果を表 3 に示す。ここで、取水時間は取水開始後水足が水尻に到達し、田面が完全湛水された時間までとした。総取水量は取水量を圃場面積で割った値である。最終湛水深は取水完了直後、田面に設置した複数の杭で水深を測定し平均して求めた。浸透量は総取水量から最終湛水深を引いた値で表した。平均取水強度は単位時間当たり取水量を短辺長で除した値で表した。実測の結果、湛水移植水田の方が若干大きい取水強度の値を示した。田面から一定強度の浸透が継続するものと仮定し、総取水量と最終湛水深の差から求めた総浸透量と水足進行面積の時間変化を考慮して平均浸透強度を求めた。その結果、両圃場の平均取水強度と平均浸透強度の値に大きな差がなかったが、湛水移植水田の最終湛水深が大きくなっている。これは、湛水移植水田の長辺長が乾田直播水田より長く、水足の到達に必要な湛水深が大きくなったことが推測される。

表 3 初期灌水の結果

圃 場	取水時間 (min)	総取水量 (mm)	最終湛水深 (mm)	浸透量 (mm)	平均取水 強度 (m ² /h)	平均浸透 強度 (mm/h)
湛水移植	420	69.0	55.5	14.2	0.74	3.68
乾田直播	365	54.5	41.8	12.7	0.52	3.71

V. 考 察

水田における初期灌水はその必要量が日必要量のピークとなるので、用水施設や用水計画を立てる時に重要な割合を占めている。今まで水田初期用水を対象とした研究では、初期灌水後の水足進行の特徴が畑地灌漑におけるボーダ灌漑と似ていることから水足進行分析にボーダ灌漑での積分形式の水足進行式が用いられ、主に浸透項を中心とした研究が行われてきた。本報では、初期灌水後の水足の進行を水収支に基づいた差分型の水足進行モデルを用いて分析した。分析結果、以下のことが明らかになった。

1. 水田区画が大きくなって長辺長および短辺長が長くなると水足の進行に必要な浸透量の増加が初期灌水量および水足進行に影響を与える主な原因として考えられてきた。しかし、今回観測した水足の進行を分析した結果、水足進行に必要な湛水深の増加も無視できない一つの要因であることが定量的に明らかになった。

2. 均平度が比較的悪い湛水移植水田において、水足進行の初期の段階で湛水深が大きくなり水足の進行を遅くしていた。このことから、水足の進行は田面均平度の影響も強く受けることが明らかになった。

以上のことから水田圃場の大区画化によって短辺長および長辺長が大きくなると、初期灌水量は面積に比例した水量増加よりも多くの水が必要であることが明らかになった。また、田面均平度の悪い水田においては、水足の前進により高い湛水深が必要であるためより多くの灌水量が必要であることが明らかになった。

謝 辞

本研究を行うにあたり，現場調査や測定に現地農家の皆様と東海農政局の方々のご支援を頂いた。なお，現地調査にあたってご協力して頂いた灌漑排水学分野の大学院生および4年生の皆様に心から感謝を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 白井清恒：地表かんがいの一解析. 三重大学農学部学術報告32：11-24, 1965.
- 2) 椎名乾治・小菅孝利：ボーダカンガイの設計理論とその応用例. 農業土木研究第32巻第6号：303-308, 1964.
- 3) 楊継富・安養寺久男・多田敦：水田の長辺長と取水流量の関係. 農業土木学会論文集179：57-68, 1995.
- 4) 原口暢朗・古木敏也：用排水管理時間から見た大区画水田の合理的な耕区長辺長と水口間隔の検討. 農工技研報190：47-57, 1995.
- 5) 農林省構造改善局：土地改良事業計画設計基準「計画・圃場整備（水田）」, P.45～46（1977）