

7. 建設機械の作業時視界の評価方法

建設機械化研究所：稲葉友喜人

1. はじめに

建設機械の作業時視界は、建設機械を的確かつ安全に操縦する上で重要な要素であるにもかかわらず、その評価方法は未だ確立していない。建設機械の現状の視界測定方法や視界評価方法は、JISでは各機種の試験方法の中の一項目として測定方法を規定しているのみである。また、ISOでは測定方法、評価方法、基準について極最近規格化したところであるが、この規格は作業時の視界を評価しようとするものではない。

本文は、建設機械の作業時視界の評価方法として、運転者を中心とする仮想球面上に投影される機械による死角を上下・周囲方向に区域分けし、各区域内の死角球面積を対応する各区域の作業時の視界重要度で重み付けて評価する方法を提案するものである。

2. 作業時視界評価方法の概要

仮想球面上への機械による死角の投影（図1参照）は、球の中心から写真撮影（魚眼レンズを使用）することで行われる。写真からは死角を形成する線分の球座標（半径を1とする球）が得られ、各々の区域内の死角球面積は球面上の死角を球面三角形と球面扇形の集合として算出する。（図2参照）

$$S = \sum S_{\Delta} + \sum S_{\text{扇}} - (1 - \cos \theta) \cdot \phi_r$$

ただし、 S ：区域内死角球面積

$\sum S_{\Delta}$ ：区域内球面三角形面積の合計

$\sum S_{\text{扇}}$ ：区域内球面扇形面積の合計

θ ：区域の下限角度（15° 間隔で分割）

ϕ_r ：区域の幅角度（30° 間隔で分割）

各区域の重み係数は、運転者が作業を行う際の視方向別の相対的な視界重要度に基づき設定したものであり、評価値 V は小さい程視界が良いことを示す指標となる。

$$V = S \cdot W \quad W: \text{重み係数}$$

（全周視界は、全ての区域の評価値を合計した数値で評価する。）



図1 球面上の視界（前半球の例）

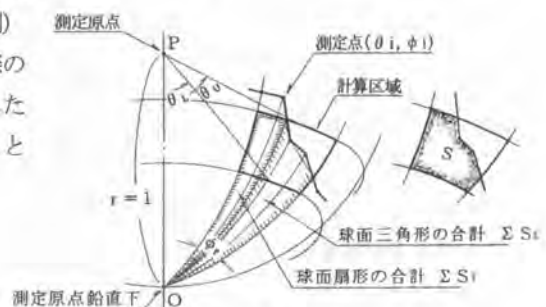


図2 区域内の死角

3. 各区域の視界重要度を求める実験

3.1 実験方法

視方向別の視界重要度を求める実験は、油圧ショベル (3.1)、ブルドーザ (3.7)、ホイールローダ (3.9) の3機種で行った。図3で示すように運転者の周囲に視界を妨げる複数の板 (本文では、視界を妨げる物あるいは妨げることをマスキングと名づける) を取付け、モデルコースを走行・作業し、マスキング位置毎にマスキングの大きさと運転者が障害と報告する回数との関係を求めた。なお、一つのマスキングが分担する範囲 (横型: 15° 、縦型: 30°) を全閉するマスキング幅をマスキング率1と定義し、上下・周囲方向の視界重要度は図4で示すようにマスキング率に対する障害報告回数の関係として、切片を0とする一次回帰式の傾きを障害感度と定義した。

この実験の特徴は、図3で示す実験フローにあり、各位置のマスキングは実験の繰返し数と運転者が障害と報告した回数によりマスキング毎に幅を変えて、全てのマスキングが一樣な障害感度となる幅に収束させようとするところにある。

それぞれのマスキング位置の障害感度は、マスキング幅を収束させる実験手法を用いたことにより、人間が感じる視覚障害感として大差がないところで比較した数値になる。

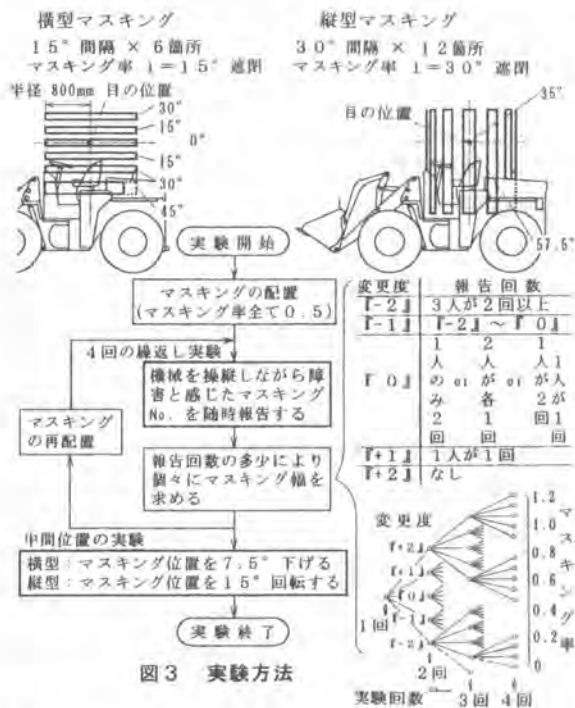


図3 実験方法

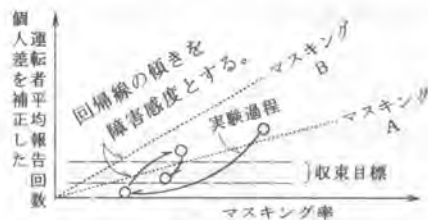


図4 視界重要度としての障害感度

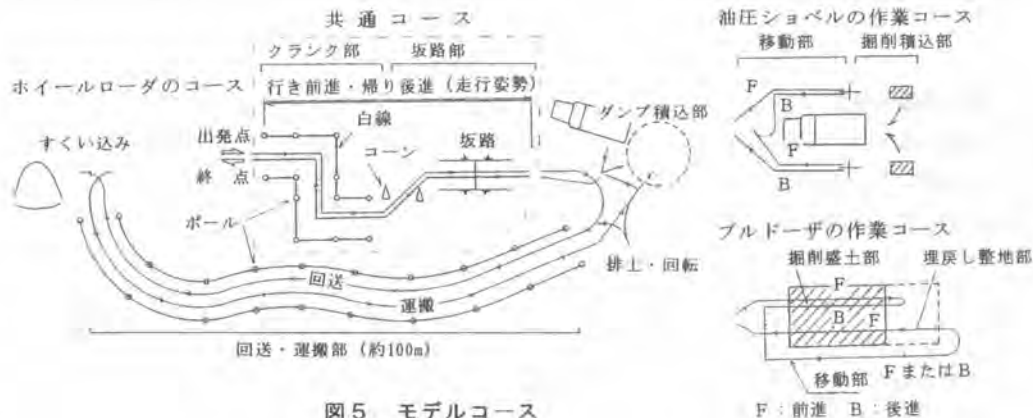


図5 モデルコース

なお、アイカメラを用いて注視挙動測定（油圧ショベル）を行い、マスキングの有無による視挙動の変化がないことを確認するとともに、実験中の運転者の頭部挙動を調べるために頭上前方からビデオ撮影（ホイールローダ）を行った。

3.2 実験結果

実験結果から、次のことがわかった。

《上下方向の視界》

- ① 作業装置が低位置にあるブルドーザについては水平までの評価で良いが、積込作業を行う油圧ショベルとホイールローダは上向き20°までの視界を評価する必要がある。また、この2機種種の水平以上の障害感度は等しい。
- ② 回送・運搬を行うホイールローダは、他の2機種種と異なり下向き7.5°付近に視界を重要とする位置がある。
- ③ 上記①②の特性を除くと3機種とも同様の傾向があり、下向き15°～30°を重要とし下向き50°までの視界評価を必要としている。

《周囲方向の視界》

- ① 前方作業装置付近は、各機種の特徴が現われている。ただし、右あるいは左0°～30°の範囲で平均すると機種による差はない。
- ② 上記の作業装置付近の特性を除くと機種間の差は認められない。
- ③ 坂路部のコース線形を考慮（後進時は右から後を見た方がコースが良く見える線形）すると視界の障害感度特性は基本的に左右対象と考えられる。

《障害と報告し始めるマスキング幅》

上下幅：18mm（下向き15°，30°）…………… 頭部の上下動によるものと考えられる。

左右幅：64mm（前方右30°～左30°）…………… 両目の間隔65mmに等しい。

4. 重み係数の設定

図6の障害感度は、作業内容による特性、コース線形による特性、実験の再現性を考慮して平均化を行い、各区域の重み係数は次式により算出した。

ある区域の重み係数をWとしたとき、

$$W = \frac{1}{16} (H\phi_1 + 2H\phi_2 + H\phi_3) \times (V\theta_1 + 2V\theta_2 + V\theta_3)$$

ただし、後方については注視挙動と頭部挙動の測定結果等から判断して上下方向の障害感度は3機種ともブルドーザの特性を用いた。

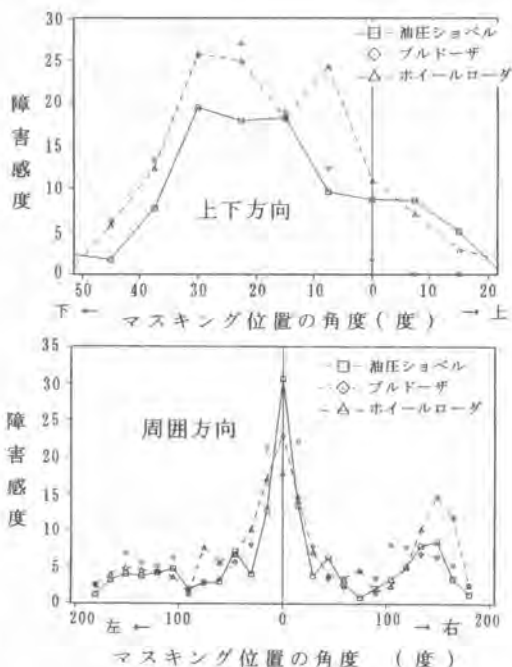
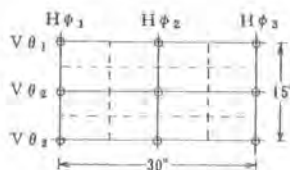


図6 各マスキング位置の障害感度



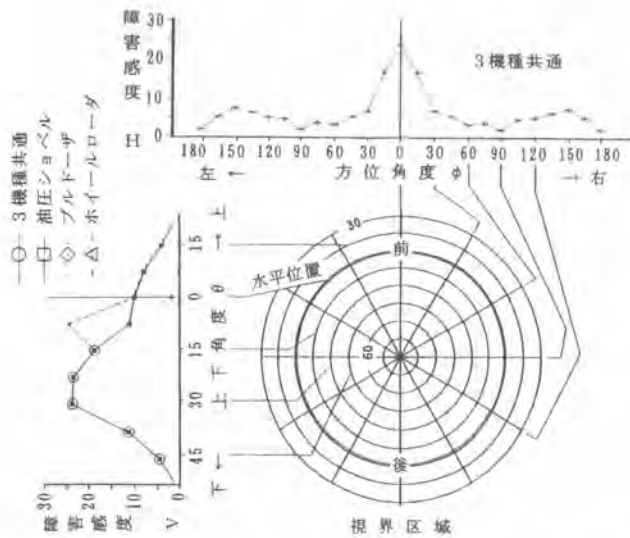


図7 重み係数の設定 (第1段階)

算出した重み係数は、翌年視界重要度を求める実験を再度行い算出方法の妥当性を確認した。

実験機種はホイールローダ (6.5t) とし、特定の区域 (図8で示す区域を代表とした) の視界重要度を直接求めるためにマスキングをブロック形状に変更して行った。

最終的な重み係数は、評価値が扱い易い数値になることを考慮して全体的に数値を小さくし、重み係数そのものを扱い易くするためと詳細な数値で表わすほどの精度を有していないことなどを考慮して評価精度が悪化しない範囲 (±5%以内) で簡略化した。ホイールローダについては図8のNo.2 (回送・運搬で重要とする区域) とその左右対象となる区域を確認実験結果で補正した。

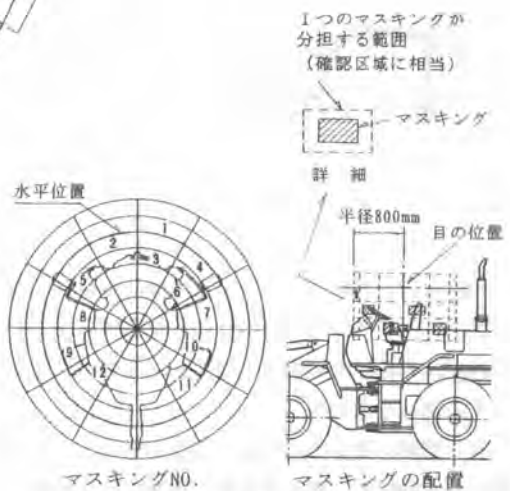


図8 確認実験時のマスキング

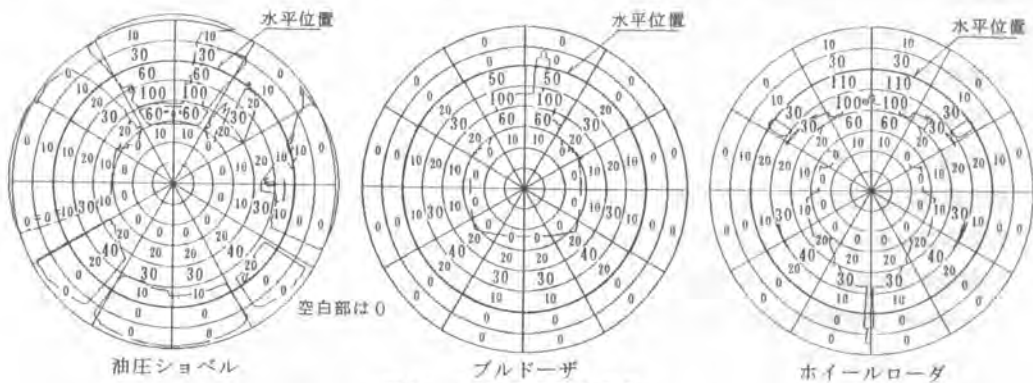


図9 3機種の重み係数

5. 写真撮影による視界測定の方法と精度

光源を用いた視界測定と魚眼レンズを装着したカメラによる視界測定を行い、写真撮影による視界測定が視界を評価するための測定方法として適切か否かを検討した。測定精度の検証は、頭部の上下動と両目の間隔を考慮した光源を用いた測定方法（図10左を参照）を基準にして行った。なお、測定原点（目の位置）は、頭部挙動測定結果により前出のISO規格で定める原点が適切なものであることを確認したので、その規格で定める位置とした。

測定原点は、ISO 5006-1による。

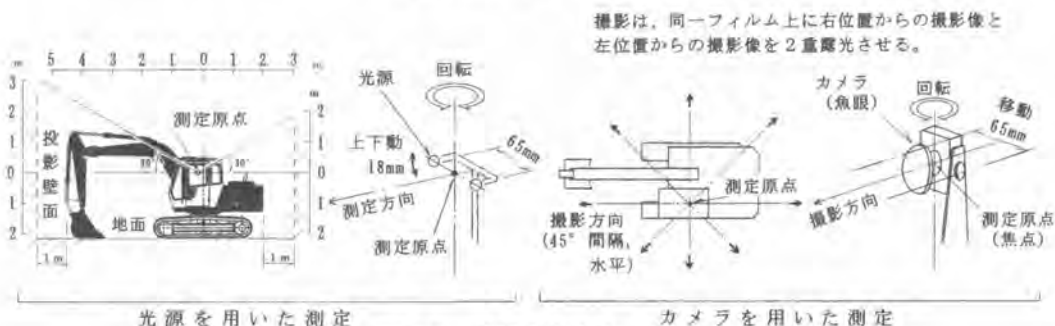


図10 視界測定方法

光源を用いた測定方法では、壁面あるいは地面に投影された死角（全影部分）の直角座標を測定し、それぞれの測定点の直角座標から球座標（半径を1とする球）を求めた。

写真撮影による方法では、1枚の写真をA4版程度に引き伸ばし、デジタイザで死角の球座標を読み取り、撮影方向によって座標軸の異なる8方向の写真データを共通の座標軸とする球座標にした。（図11参照）

2機種を対象に行った、光源を用いた測定結果と写真撮影による測定結果を表1に示す。それぞれの測定方法による死角球面積と視界評価結果から次のことが推察される。

- ① 基本的には、光源を用いた測定と写真撮影による測定の差（表1 C, Dの差）は小さい。測定誤差の要因として、光源を用いた測定では光源のフィラメント長に関する誤差、投影壁面の設置精度などがあり、写真撮影による場合は写真の読み取り誤差などがあげられる。
- ② 目の上下動を考慮しなくても、測定される死角の増加（表1 B/A）は小さい。

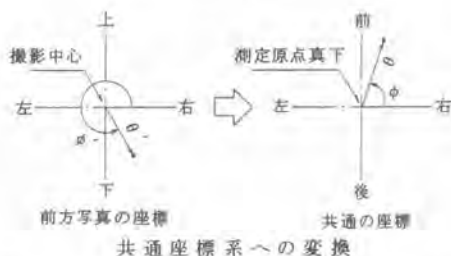
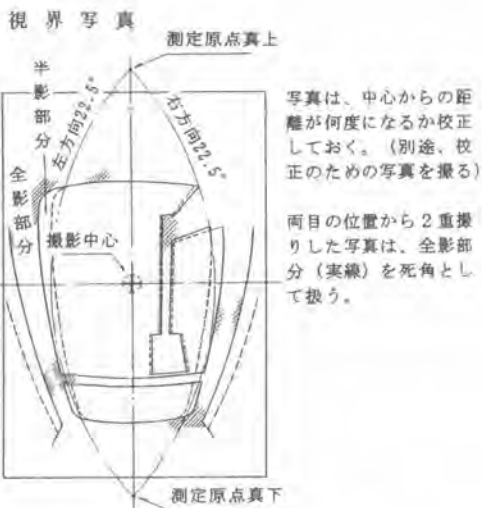


図11 撮影写真の処理方法（前方の例）

- ③ 写真撮影を全周8分割撮影とした場合、読み取る写真の端部（22.5°）で両目の効果が60mm相当となるが、死角が大きくなる（表1 E/B）する可能性は少ない。Bの方が大きいのは死角の投影壁面位置が近いことなどの影響が考えられる。

以上の結果は、写真撮影による視界測定で十分に視界評価できることを示している。

表1 測定方法による視界評価値の差違

| 測定方法 | | | 測定対象 | | 油圧ショベル (10t キヤブ) | | ホイールローダ (6.5t キヤブ) | |
|-------------|----------|-------------|------|------|---------------------|------|-----------------------|--|
| | | | 面積 | 評価値 | 面積 | 評価値 | | |
| 光 測 定 | 双 眼 | 上下動有り | A | 4.86 | 6.4 | 2.68 | 3.7 | |
| | | 中央固定 | B | 4.93 | 6.6 | 2.71 | 3.8 | |
| 撮 影 | 単眼(測定原点) | | C | 5.59 | 7.7 | 2.88 | 4.2 | |
| | 通常(測定原点) | | D | 5.64 | 7.8 | 2.90 | 4.2 | |
| | 2 | 重 撮 り | E | 4.86 | 6.5 | 2.67 | 3.7 | |

面積は、上向き30°までの値を示す。

測定姿勢：バケット底面接地

6. おわりに

本研究で提案した作業時の視界を評価する重み係数は、次の意味を持っている。

- ① 個々の重み係数は、各機種別に代表的な作業として設定したモデルコースを走行・作業した時の視界の重要度を相対的に示す数である。
- ② 求めた視界重要度は、概略的には視方向別に同様の障害と感ずる死角の大きさ（球面積）を相対値で示したものである。
- ③ 機種の相違による上下方向の視界重要度の差違は、主に作業内容に起因したものである。周囲方向の視界重要度は、周囲方向を30°間隔で平均しているため機種間の差がない。したがって、3機種の重み係数の違いは機械形状の違いによるものではなく、作業内容が異なるためであり、適用できる機械の大きさは作業内容を同様とする範囲まで可能と考えられる。
- ④ 重み係数は、運転者の機械操縦時の感覚に基づいている。したがって、運転者の視行動を推察すれば、作業能率に関する視界、安全に作業を行うための視界として評価されるものと考えられる。しかし、一方では、運転者の視行動を伴わない安全性については評価されない面もある。

写真撮影による視界測定は、光源を用いた方法より簡単で、かつ同等の精度が得られる視界測定方法であり、全周の視界測定に最適な方法であると言える。

謝辞： 本研究は、日本小型自動車振興会から機械工業振興資金の補助を受けて、平成元年度～3年度にわたり実施したものであり、研究に際しては“建設機械の視界測定および評価方法に関する委員会”を設置し、その指導を仰いだ。ここに渡辺岑生委員長、長谷川保裕初代委員長ならびに委員諸氏のご指導ご協力に深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) JIS A 8402 ショベル系掘削機性能試験方法 他
- 2) ISO 5006-1 Earth-moving machinery—Operator's field of view—Part 1: Test method
- 3) ISO 5006-2 Earth-moving machinery—Operator's field of view—Part 2: Evaluation method
- 4) ISO 5006-3 Earth-moving machinery—Operator's field of view—Part 3: Criteria
- 5) 建設機械の操作性に関する調査試験報告書（第2報） 建設省 四国技術事務所 1977-5