

牛舎用格子床の構造解析

Structural Analysis of Floor Grids for Confinement Cattle Feeding System

G. L. Pratt and G. L. Nelson

Trans. of the ASAE, 11 (1): 50~56, 1968

ポルトランドセメント協会は単純梁として支持された簡単なすのこの設計を公表している。長さ 8 ft (244 mm) の牛用鉄筋コンクリートすのこの断面寸法は幅が上部で 6 in (152.4 mm) 下部で 3 in (76.2 mm)、深さ 6 in (152.4 mm) である。 $\#3$ と $\#6$ 各 1 本の鉄筋が必要である。いかなる時にも最大荷重に対して各単純梁を設計しなければならない。梁を連結した格子組の設計はそれぞれの格子に必要な材料が減り、単純梁よりも経済的であろう。本報告はこの格子わく組床システムの設計と成績を報告するものである。

不静定格子わく組の設計に関する理論解析にはたわみ角法と修正した平板とをとり入れた。格子組平板は Guyon と Massonnet 式により求めた。実験は荷重、格子の配列、構造強度と格子に起きる最大歪、たわみとの関係を示す計算式を見出すデータをうることを目的とした。歪に対する計算式は曲げに対して安全な格子わく組の設計に用いることができる。曲げ応力の式 $S = \frac{Mc}{I}$ を使って求まる。

実験内容

使用する記号を第 1 表に示す。

図 1 に示すようにスラットは支点間に渡した縦方向の梁とし、つなぎ梁 (クロスタイ) は支点の間にあってスラットとは別の短い横につなぎ梁とした。試験は 4 本スラットの格子組について行なった。スラットのねじりこわさは函数 GJ/L 、曲げこわさは函数 EI/L で表わされる。E は格子材料のヤング率、G はせん断弾性係数、I はスラットとタイの断面の慣性モーメント、J は断面二次極モーメントを表わす。荷重は図 1 に示すように 2 等分され各端から等距離のスラットにかかる。

計算式は図 1 に示されている M1、M2、M3、M4 の点での縦属変数について書いた。計算式は 2 つあり、1 つはスラット 1 上の荷重で、他はスラット 2 上の荷重で書かれている。

模型設計と試験方法

テストは断面寸法が同じスラットとタイの格子に限り、型込め焼石こう (molding plaster) で原形の $1/4$ の模型について行なった。クロスタイは 1~4 本まで変えるために 4 つの模型を使った。 EI/GJ は 0.72~4.12 まで変化した。コンクリートに対する $G=0.4E$ とした。 L/B の最小値は長さ 6 ft (1830 mm)、すのこ間隔 8 in (203 mm) の原形より、最大値は長さ 12 ft (3660 mm)、すのこ間隔 6 in (152.4 mm) とした。 X/L は X を格子の中央または端に近づけることによつて決めた。その限界は 0.17 および 0.46 とした。 EI/PL^2 の最小値は荷重 500 lb (226.8 kg)、長さ 72 in (182.9 mm) $E=3 \times 10^6 \text{ psi}$ (0.211 kg/cm^2)、 $I=85.7 \text{ in}^4$

(356.7 cm⁴) から求めた。EI/PL² はPの変化により変わる。

石こうの弾性係数は単純数支持梁より求めE=6.28×10⁵～7.65×10⁵PSiの範囲、Gはねじり試験機の実例より求めG=2.97×10⁵～3.55×10⁵PSiの範囲である。慣性モーメントはI=1/12bh³から計算した。断面二次極モーメントはサンブナンの式を用いて算出した。

$$J = \frac{1}{16} \left[\frac{16}{3} - 3.86 \frac{c}{b} \left(1 - \frac{1}{12} \left\{ \frac{c}{b} \right\}^4 \right) \right] bc^3$$

たわみ測定はダイヤルゲージで、歪はストレンゲージを用いて行なった。

計 算 式

表3は歪に対する計算式の係数を表わしている。歪について8つの計算式ができ、4つはスラット1に対して、4つはスラット2に対してである。表4はたわみに対する計算式の計数を表わしている。

$$e = (K_1) \left(\frac{EI/GJ}{K_2 + K_3(EI/GJ)} + K_4 \right) (PL^2/EI) (L/B)^{-k_5} (X/L)^{k_6} (K_7 - K_8(T))$$

$$L/a = (K_1) (EI/GJ)^{k_2} (EI/PL^2) (K_3 + K_4(L/B)) (X/L)^{-k_5} (K_6 - K_7(T))$$

結果と考察

歪の計算式は曲げに対して安全な4本スラット格子わく組の設計に用いることができる。すのこを敷設しようとする牛房のレイアウトによつて格子の配列、長さがきめられ、スラット寸法、タイ寸法、スラット間隔、クロスタイ数が仮定される。計算式はこの仮定を検討するのに使用できる。4本スラット格子の設計に歪計算式の使用を例解するには、図2に示したようなスラット断面配列の格子を考える。図2に示したように格子に2つのクロスタイがあると仮定する。P=500lb(226.8kg)、格子長さ961in(2438.6mm)、スラット間隔1.5in(38.1mm)とする。問題は動荷重と静荷重が動くときのスラット上部のコンクリート応力と鉄筋の応力を求めることである。コンクリートに対する

$$E = 4 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$G = 0.4 E$$

$$N = 10 \text{ (} f_c' = 3000 \text{ psi のコンクリートに対して)}$$

スラット1に荷重がかかっているときはスラット1の中央での歪に対する計算式を用い、

$$\text{歪} = (3.89) \left\{ \frac{EI/GJ}{0.007 - 0.014(EI/GJ)} + 250.14 \right\} (PL^2/EI) (L/B)^{-0.941} (X/L)^{1.434} (128.84 - 4.21T)$$

$$\pi_3 = EI/GJ$$

ソリッドコンクリート断面に対する比とこの比は同じと仮定する。計算はロッドの下のコンクリートを含めたhとdに基いた。

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = 62.5 \text{ in}^4$$

$$J = \frac{1}{16} b h^3 \left[\frac{16}{3} - 3.36 \frac{h}{b} \left\{ 1 - \frac{1}{12} \left(\frac{h}{b} \right)^2 \right\} \right] = 124.0 \text{ in}^4$$

$$\frac{EI}{GJ} = \frac{62.5}{0.4 \times 124.0} = 1.26$$

$$\pi_4 = \frac{EI}{PL^2}$$

この比は

$$At = nAs = 10 \times 0.31 = 3.1 \text{ in}^2$$

$$P = \frac{AS}{bd} = \frac{0.31}{6 \times 3.5} = 0.015$$

$$K = \left\{ (np)^2 + 2np \right\}^{\frac{1}{2}} - np = 0.43 \text{ として}$$

$$I = \frac{1}{3} b d^3 + At \times [d - (K \times d)] = 19.0$$

$$\frac{EI}{PL^2} = \frac{4 \times 10^6 \times 19.0}{500 \times (96)^2} = 16.5$$

$$\pi_5 = \frac{L}{B} = \frac{9.6}{7.5} = 12.80$$

$$\pi_6 = \frac{X}{L}$$

Xは格子端から6、18、42 inの3つについて計算するとそれぞれ $\frac{6}{96} = 0.06$ 、 $\frac{18}{96} = 0.19$

$$\frac{42}{96} = 0.44、$$

$$\pi_7 = T = 2$$

格子端から6 inのところにかかる荷重によるスラット1の中央での歪は

$$\text{Strain 1} = (3.89) \left\{ \frac{1.26}{0.007 - 0.014(1.26)} + 25.014 \right\} (16.5)^{-1.0}$$

$$(12.80)^{-0.941} (0.06)^{1.434} (128.84 - 4.21(2))$$

$$\text{Strain 1} = 6.5 \mu$$

X=18 inの場合

$$\text{Strain 2} = 31.3 \mu$$

X=42 inの場合は

$$\text{Strain 3} = 105.6 \mu$$

$$\text{全歪} = 249 \mu$$

動荷重によるコンクリート応力は

$$(4 \times 10^6) \times 249 \times 10^{-6} = 995 \text{ lb-in}^2$$

重荷重によるビームにかかるモーメントは

$$\frac{(\text{応力}) \times \text{慣性モーメント}}{Kd} = 13060 \text{ (in-lb)}$$

静荷重によるモーメントは

$$\frac{1}{8} WL^2 = 3000 \text{ (in-lb)}$$

全モーメントによるコンクリート応力は

$$\frac{MC}{I} = 1224 \text{ lb-in}^2$$

全モーメントによる鉄筋の応力は

$$n \left(\frac{M}{I} \right) (d - Kd) = 17340 \text{ lb-in}^2$$

この例の梁は16060 (in-lb) の全モーメントに安全に耐えられる。もし図に示す荷重が長さ88フィートの単純梁にかかるると全モーメントは29880 (in-lb) となり、これは16060 (in-lb) の約2倍となる。

Guyon-Massonnet 設計

格子解析についての Guyon-Massonnet 設計 (1964 および 1950) はモーメントとたわみを配力させる方式である。Guyon-Massonnet 法を用いて曲げモーメントの配力係数が長さ 47 in、間隔 3 in で4本のスラットの石こう製格子の計算をした。スラットの幅と高さは 2.2 in である。この格子について荷重試験を行ない、配力係数を比較すると Guyon-Massonnet 値よりも載荷されたスラットの応力分布が少ないことが判明した。表5は梁1に荷重がかかった場合の係数を示すものである。

(帯広畜産大学 宮本啓二)

表1 記号

№	記号	記事	単位	ディメンション記号
1	e	歪	$\mu \text{ in/in}$	LL
2	d	たわみ	in	L
3	T	クロスタイの数
4	EI	スラットとタイの曲げ剛性	$\text{lb} \cdot \text{in}^2$	FL^2
5	GJ	スラットとタイのねじり剛性	$\text{lb} \cdot \text{in}^2$	FL^2
6	L	格子長さ	in	L
7	B	縦スラット間隔	in	L
8	P	集中荷重	lb	F
9	X	格子の端から荷重までの距離	in	L

表2 実験計画表

実験系列	$\pi_3=T$	$\pi_4=EI/GJ$	$\pi_5=L/B$	$\pi_6=X/L$	$\pi_7=EI/PL^2$
1	π_2 変数 1 2 3 4	$\bar{\pi}_4=1.32$	$\bar{\pi}_5=1.6$	$\bar{\pi}_6=0.46$	$\bar{\pi}_7=1.2$
2	$\bar{\pi}_3=2$	π_4 変数 0.72 1.32 2.13 4.12	$\bar{\pi}_5=1.6$	$\bar{\pi}_6=0.46$	$\bar{\pi}_7=1.2$
3	$\bar{\pi}_3=2$	$\bar{\pi}_4=1.32$	π_5 変数 9 12 16 24	$\bar{\pi}_6=0.46$	$\bar{\pi}_7=1.2$
4	$\bar{\pi}_3=2$	$\bar{\pi}_4=1.32$	$\bar{\pi}_5=1.6$	π_6 変数 0.46 0.38 0.29 0.17	$\bar{\pi}_7=1.2$
5	$\bar{\pi}_3=2$	$\bar{\pi}_4=1.32$	$\bar{\pi}_5=1.6$	$\bar{\pi}_6=0.46$	π_7 変数 4 12 44 100

表3 実験に使用した負荷条件に関する歪計算式の係数値

歪場の場所 スラット毎	荷重の場所 スラット毎	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
1	1	3.89	0.007	-0.014	250.14	0.941	1.434	128.84	4.21
2	1	3.36	0.058	-0.088	123.95	0.933	1.003	99.50	1.12
3	1	1.98	-0.149	0.180	80.78	0.752	0.888	90.75	2.12
4	1	1.20	-0.112	0.126	67.52	0.569	0.787	77.27	0.11
1	1	3.43	0.028	-0.047	137.78	0.933	0.993	99.66	1.40
2	1	2.88	0.015	-0.027	189.39	0.814	1.325	107.49	0.85
3	1	3.01	0.220	-0.309	102.58	0.864	1.000	91.23	0.63
4	1	2.17	-0.269	0.345	86.12	0.748	0.960	86.16	0.44

表4 実験に使用した負荷条件に関するたわみ計算式の係数値

歪の場所 スラット№	荷重の場所 スラット№	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7
1	1	2.25×10^{-5}	-0.142	932.5	67.9	0.679	2239.7	8.875
2	1	1.90×10^{-5}	-0.073	1479.6	52.9	0.738	2601.0	23.09
3	1	1.49×10^{-5}	+0.061	2327.8	26.4	0.802	3161.1	62.792
4	1	0.95×10^{-5}	+0.200	3666.1	-19.9	1.148	3723.0	116.621
1	2	1.98×10^{-5}	-0.033	1291.6	65.5	0.635	2638.6	28.205
2	2	1.90×10^{-5}	-0.049	1436.2	57.8	0.649	2775.0	39.800
3	2	1.84×10^{-5}	-0.013	1729.8	49.4	0.614	2982.1	64.038
4	2	1.82×10^{-5}	+0.027	1991.5	41.6	0.588	3032.1	53.788

表5 原型のスラット1上の負荷に対する曲げモーメントとたわみの配力係数

	スラット1	スラット2	スラット3	スラット4
Guyon-Massonnet 解析による曲げモーメントの平均値に対する配力係数	1.17	1.03	0.94	0.85
原型試験データより計算された曲げモーメントの平均値に対する配力係数	1.27	0.96	0.91	0.85
原型試験データより計算されたたわみの平均値に対する配力係数	1.26	1.05	0.89	0.74

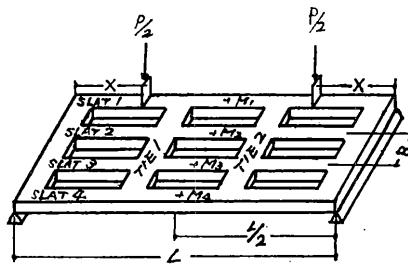


図1 牛用の床に適する格子配列

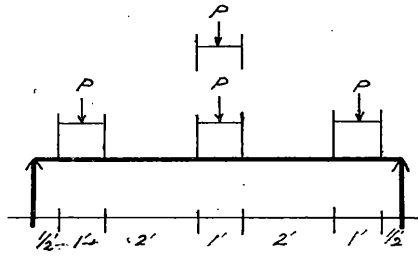


図2 長さ8フィートの1本すのこの設計に使用された荷重

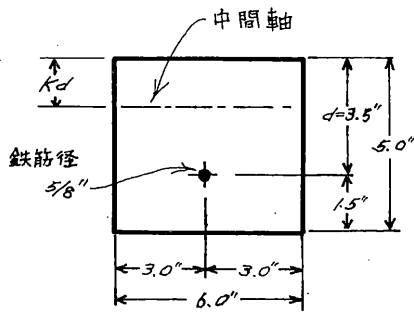


図3 例題に使用されたスラットの断面