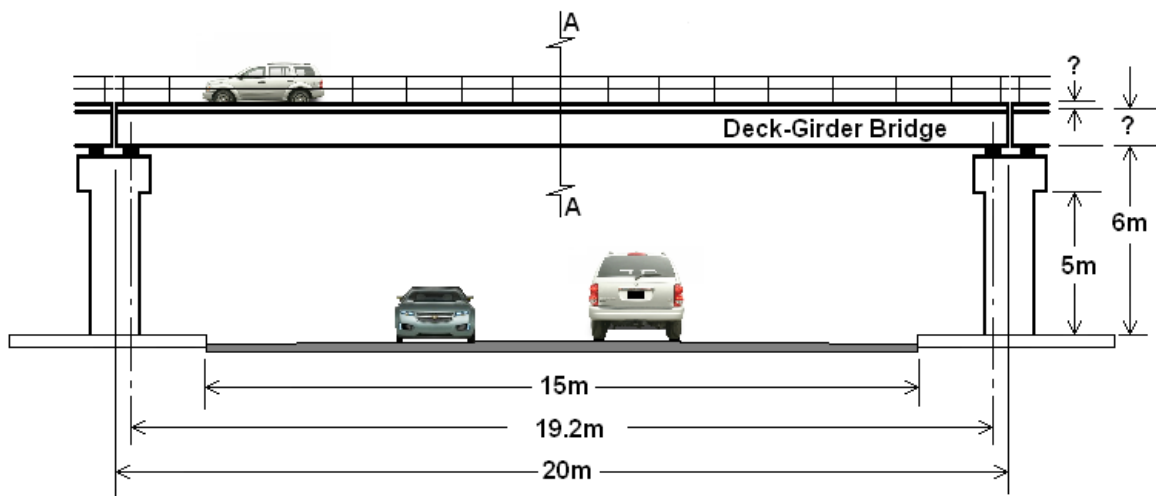


## دورة تصميم الجسور ذات الروافد الخرسانية المسلحة

للفترة 25-29 كانون الثاني / 2009

### Design of a Reinforced Concrete Deck-Girder Bridge to AASHTO & ACI Codes

إعداد وإلقاء  
المهندس الاستشاري  
أستاذ المساعد علاء مهدي الخطيب



## المقدمة:

تتضمن المحاضرة التصميم الكامل للجسور المستندة على روافد خرسانية مسلحة. هذا النوع من الجسور ، الموضح مقطعه الطولي في الشكل-1 ومقطعه العرضي في الشكل-2 ، يصلح للتنفيذ في العراق ضمن فضاءات تتراوح من 10 لغاية 30 متر وذلك لتوفر المواد الأولية والخبرة في إنشائه.

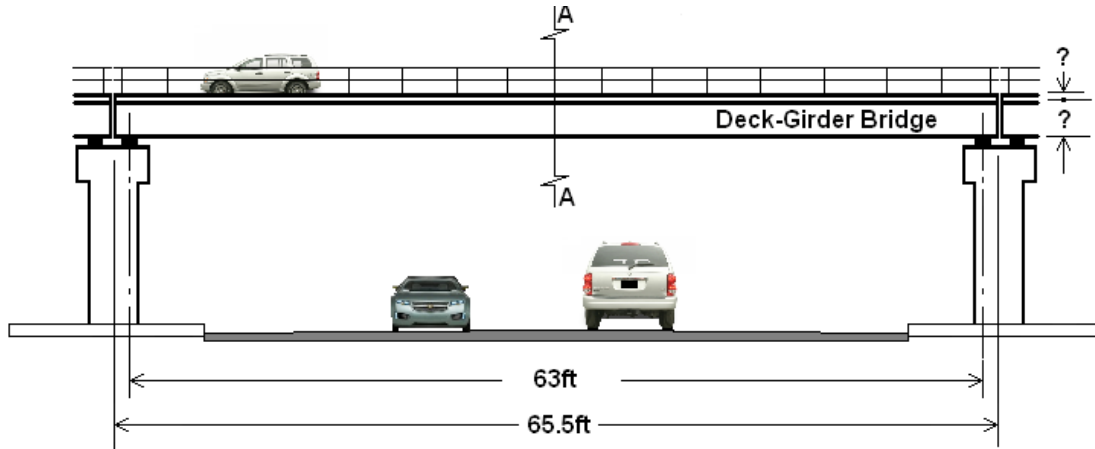


Fig. 1- Longitudinal section of a Deck-Girder Bridge

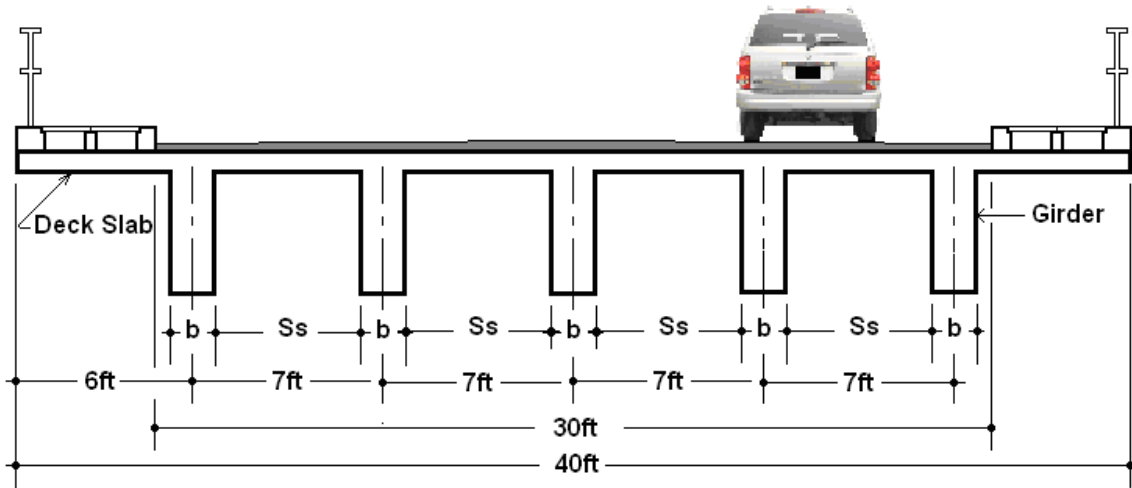


Fig 2- Cross section A-A

## Given Data:

Effective Span= 63 ft

Effective Width= 30 ft

Live Load= HS20

Concrete Strength (Cylindrical Test)  $f'_c = 5000$  psi (35 MPa)

Steel a- Grade 40 for Deck Slab  $f_y = 40,000$  psi (330 MPa)

b- Grade 60 for Girders  $f_y = 60,000$  psi (414 MPa)

## Deck Slab Design:

$$b = 20 \text{ in} * (50 \text{ cm})$$

نفرض إن عرض أي رافد يساوي:

$$S_s = 7 - \frac{20}{12 \times 2} - \frac{20}{12 \times 2} = 5.33 \text{ ft}$$

فيكون العمق المؤثر للبلاطة يساوي:

$$h = 8 \text{ in} * (20 \text{ cm})$$

نفرض أن العمق الكلي للبلاطة يساوي:

مع طبقة إكساء بالخرسانة الأسفلتية بسمك 4in ، يمكن حساب مقدار الأحمال الميتة DL المؤثرة على كل قدم مربع من البلاطة وكما يلي:

$$DL = 150 \times \frac{8}{12} + 130 \times \frac{4}{12} \approx 145 \text{ psf} **$$

لتعقيد منشأ الجسر وصعوبة تحليله إنشائياً ، يمكن تبسيط الموضوع بافتراض معامل بمقدار 1/10 لعزوم الأحمال الميتة الموجبة والسالبة، بينما يكون المعامل بمقدار 1/2 لرصيف الجسر وكما موضح بالشكل-3.

لذا تكون العزوم الموجبة والسالبة القصوى للأحمال الميتة Md المؤثرة على بلاطة المنصة تساوي:

$$Md = \mp \frac{wl^2}{10} = \mp \frac{DL \times l^2}{10} = \mp \frac{145 \times (5.33)^2}{10} = \mp 412 \text{ ft.lb}$$

الإسلوب المتبع للتعامل مع الأحمال الحية (كافة الآليات والأشخاص المارين على الجسر) كما توصي به كراسة مواصفات الطرق والنقل AASHTO وهي اختصار ل:

(American Association of State Highway and Transportation Officials)

لاختلاف أوزان وأبعاد وأعداد العجلات المارة على الجسر، واستناداً إلى دراسات تجريبية وإحصائية، يمكن استخدام الشاحنة القياسية HS20 ذات الوزن المحدد والأبعاد الثابتة بين محاورها بدلاً عن احتمالات مرور عجلات مختلفة، وكما في الشكل-7.

ولحساب العزوم القصوى للأحمال الحية ML المؤثرة على بلاطة منصة الجسر تحت تأثير مرور الشاحنة القياسية HS20 ، نستخدم المعادلة التالية:

$$ML = 0.8 \times \frac{S_s + 2}{32} P_{20} = 0.8 \times \frac{5.33 + 2}{32} \times 16000 = 2932 \text{ ft.lb}$$

حيث إن 0.8 يمثل معامل استمرارية، يستخدم إذا كانت بلاطة المنصة مستمرة فوق ثلاثة روافد أو أكثر، أما إذا كانت البلاطة تستند على رافدين فنستخدم المعادلة بدونه.

وإن P20 يمثل حمل إطار الشاحنة القياسية HS20 ويساوي نصف حمل المحور البالغ 32,000 LB أي بعبارة ثانية 16,000LB .

لما كانت العجلات المارة على الجسر تسير بسرعة مختلفة فإنها تسبب اهتزاز له ، كما إن توقفها المفاجئ يسبب ما يشبه الصدم (Impact) ، بالتالي ستحدث عزوم إضافية تسمى عزوم الصدم (MI). تشير المواصفة إلى أن معامل الصدم (I) الذي يمثل نسبة لا تتجاوز 30 % من عزوم الأحمال الحية يمكن حسابه كما يلي:

\* هذه فرضيات ابتدائية سوف يظهر من خلال الحسابات اللاحقة كفايتها أو الحاجة لتغييرها.  
\*\* وزن قدم مكعب من الخرسانة يساوي 150 ، ووزن قدم مكعب من الخرسانة الأسفلتية يساوي 130

$$I = \frac{50}{S_s + 150} = \frac{50}{5.33 + 150} = 0.322 \Rightarrow 0.3$$

$$MI = ML \times I = 2932 \times 0.3 = 880 \text{ ft.lb}$$

الآن نجمع كافة العزوم المؤثرة على بلاطة منصة الجسر وهي عزوم الأحمال الميتة والحية والناشئة بسبب الصدم للحصول على العزوم الكلية القصوى (MT) وكما يلي:

$$MT = Md + ML + MI = 412 + 2932 + 880 = 4224 \text{ ft.lb}$$

بينما العزوم القصوى للأحمال الميتة المؤثرة على رصيف الجسر تساوي:

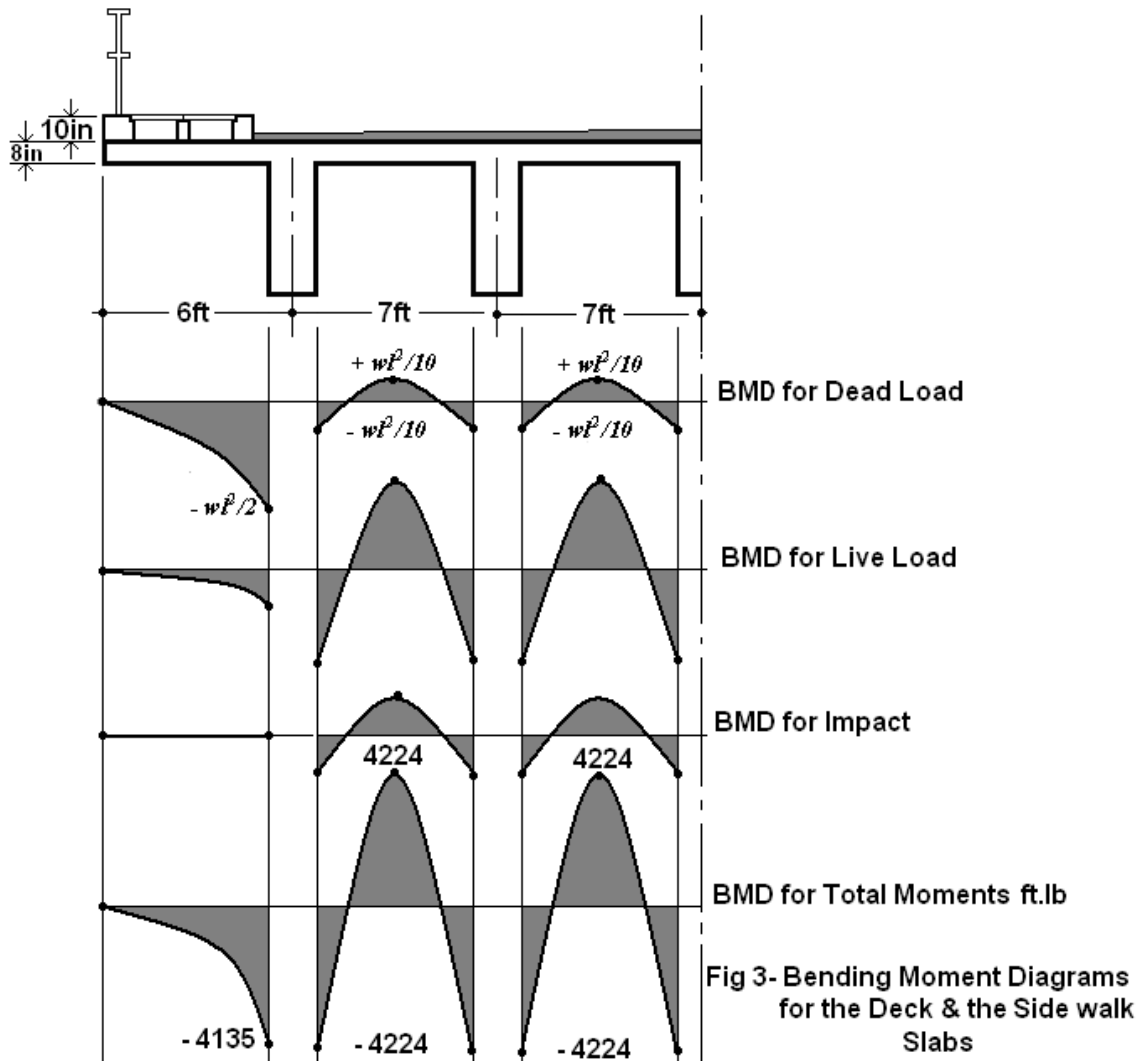
$$Md = -\frac{(150 \times \frac{18}{12})(6 - \frac{10}{12})^2}{2} = -3000 \text{ ft.lb}$$

و العزوم القصوى للأحمال الحية المؤثرة على رصيف الجسر البالغة 85psf تساوي:

$$ML = -\frac{wl^2}{2} = -\frac{85(6 - \frac{10}{12})^2}{2} = -1135 \text{ ft.lb}$$

فتكون العزوم الكلية القصوى المؤثرة على رصيف الجسر تساوي:

$$MT = Md + ML = -3000 - 1135 = -4135 \text{ ft.lb}$$



\*WSDM (Working Stress Design Method) نصمم بلاطة المنصبة وفق طريقة  
الموضحة رموزها ومعادلاتها في الشكل-4 .

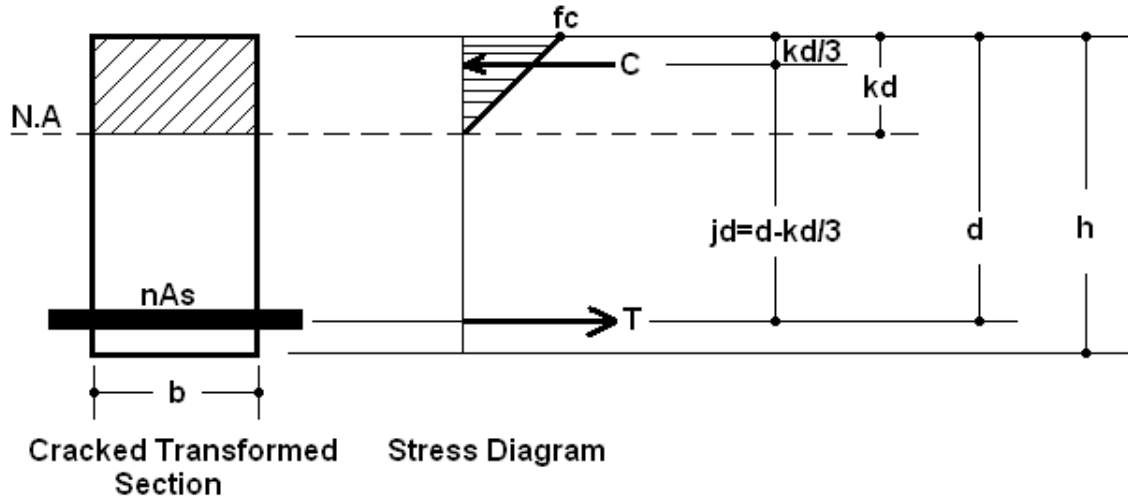


Fig 4- Notations of WSDM in a Reinforced Concrete Section

$$\text{Tension } T = A_s \times f_s = \text{Compression } C = 0.5 bkd \times f_c$$

$$\text{Moment of Resistance } M_r = T \times jd = A_s \times f_s \times jd$$

$$\text{Concrete Youngs Modulus } E_c = 57000 \sqrt{f'_c} = 57000 \sqrt{5000} = 4,000,000 \text{ psi}$$

$$\text{Modular Ratio } n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{29,000,000}{4,000,000} = 7.25$$

$$\text{Stress Ratio } r = \frac{f_s}{f_c} = \frac{20,000}{2,000} = 10$$

$$k = \frac{n}{n+r} = \frac{7.25}{7.25+10} = 0.42$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.42}{3} = 0.86$$

العمق الأدنى المطلوب للبلاطة (d req.) يساوي:

$$d_{req} = \sqrt{\frac{2MT}{fckjb}} = \sqrt{\frac{2 \times 4224 \times 12}{2000 \times 0.42 \times 0.86 \times 12}} = 3.42 \text{ in}$$

\* في طريقة WSDM يجري حساب العزوم الفعلية القصوى بدون زيادة، بينما يتم تخفيض المقاومات القصوى للمواد وذلك لتحقيق درجة الأمان المطلوبة للجسر وكما يلي:

$$f_c = 0.4 f'_c = 0.4 \times 5000 = 2000 \text{ psi}$$

$$f_s = 0.5 f_y = 0.5 \times 40,000 = 20,000 \text{ psi}$$

باستخدام قضبان حديد تسليح ذات قطر 5/8 وغطاء خرساني بمقدار 1in مع ترك طبقة من الأعلى معرضة للتآكل بسمك 1in ، يكون العمق المتوفر  $d_{ava}$  يساوي: (لاحظ الشكل-5).

$$d_{ava} = 8 - 1 - \frac{5}{16} - 1 = 5.6in$$

وهذا العمق أكبر من العمق المطلوب البالغ 3.42in . لذا فان الفرضية باعتبار السمك الكلي 8in ستكون أمينة ومقبولة وسيتم اعتمادها.

مساحة حديد التسليح الرئيسي المطلوبة لكل قدم من عرض البلاطة  $A_s$  تساوي:

$$A_s = \frac{MT}{f_s jd} = \frac{4224 \times 12}{20,000 \times 0.86 \times 5.6} = 0.526in^2$$

مسافات تباعد حديد التسليح #5 ذو مساحة مقطع عرضي  $A_b = 0.31in^2$  ، راجع الجدول الملحق لحديد التسليح، تساوي:

$$Spacing = \frac{A_b}{A_s} = \frac{0.31}{0.526} = 0.59ft = 0.59 \times 12 = 7.07in \Rightarrow 7in$$

### Use #5@7'' c/c,T&B

لما كانت فضاءات البلاطة قصيرة ولتلافي إحناء القضبان بصورة قاسية، سيتم إستعمال قضبان مستقيمة في أسفل البلاطة وكذلك في أعلاها. إن هذا الإجراء ربما سيستهلك كمية أكبر من الحديد لكن الكلفة الإضافية سيتم معادلتها بالتوفير الحاصل في إجور الحدادة وسهولة التنفيذ. سيتم مقاومة الإجهادات الناشئة من الإنكماش وتغير درجات الحرارة ، وكذلك لتوزيع الأحمال المركزة لإطارات العجلات على بلاطة المنصة، باستخدام حديد تسليح ثانوي يوضع فوق الطبقة السفلى لحديد التسليح الرئيسي وبصورة متعامدة عليه. أما كميته فتحددها المواصفة كنسبة مئوية لا تتجاوز 67% من حديد التسليح الرئيسي وتبلغ:

$$Spacing(Secondary) = 7.07 \times \frac{67}{100} = 10.55in \Rightarrow 10in$$

### Use #5@10'' c/c

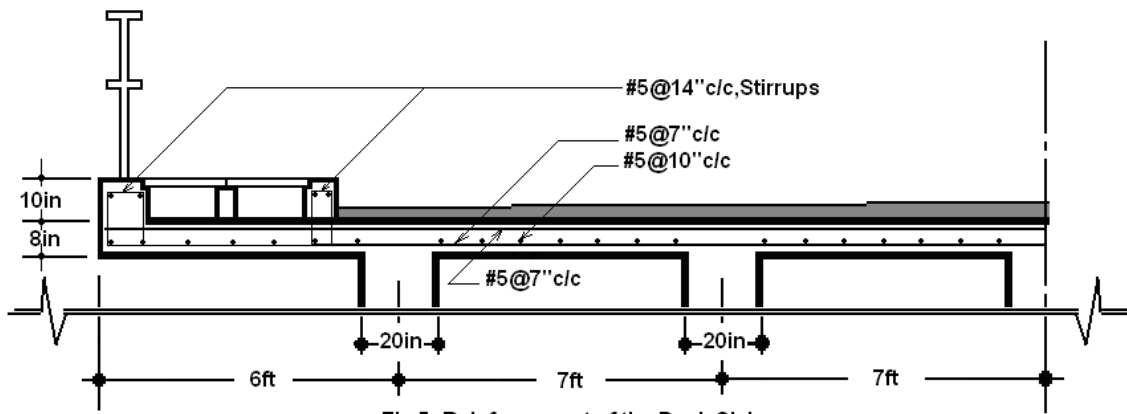


Fig 5- Reinforcement of the Deck Slab

## Design of Interior Girders

لما كانت الروافد الداخلية على شكل T فان عرض الشفة العليا Width of Top Flange يساوي المسافة بين مراكز الروافد البالغة 7ft وكما في الشكل-6 .

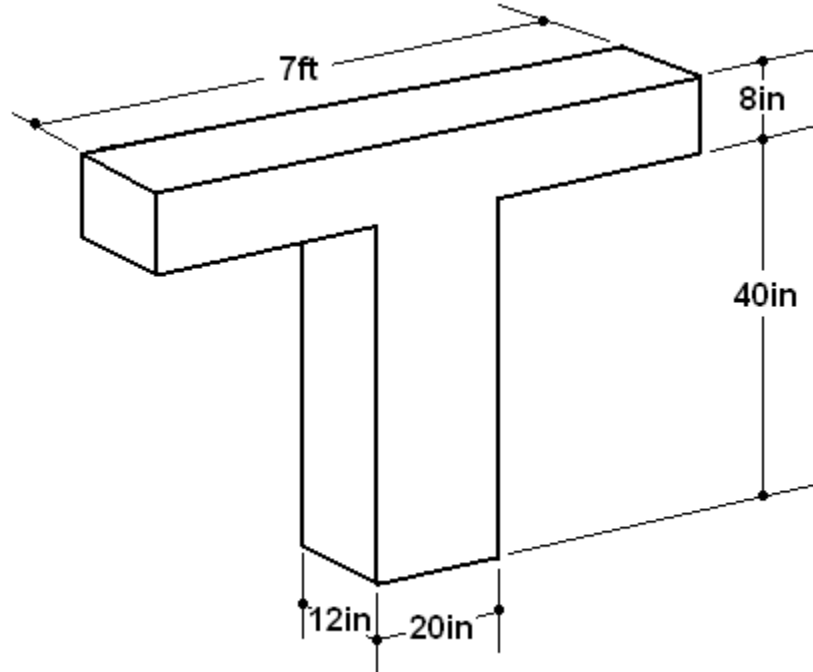


Fig 6- Interior Girder Dimensions

بافتراض عمق مقداره 40in (متر واحد) لجزء الرافد الواقع تحت البلاطة، يمكن حساب الأحمال الميتة المؤثرة على قدم واحد من طول الرافد وكما يلي:

$$DL = 145 + 150 \left( \frac{12}{12} \times \frac{20}{12} \times \frac{40}{12} \right) = 1850 \text{ lb / ft}$$

ويكون العزم الأقصى للأحمال الميتة يساوي:

$$Md = \frac{DL \times l^2}{8} = \frac{1850 \times 63^2}{8} = 917,000 \text{ ft.lb}$$

أما العزم الأقصى للأحمال الحية المتمثلة بمرور الشاحنة القياسية الموضحة بالشكل 7-، فيمكن حسابه كما يلي:

لما كان الجسر مؤلف من بلاطة خرسانية مستندة على روافد خرسانية، وإن عرض الجسر يستوعب مسارين مروريين، فان المواصفة تشير في مثل هذه الحالة إلى إن كل رافد داخلي عليه أن يسند أحمال إطارات الشاحنة القياسية مضروباً بمعامل مقداره  $S/5$ ، حيث إن  $S$  تمثل المسافة بين خطوط مراكز الروافد مقاساً بالأقدام على أن لا تتجاوز 10 أقدام.

$$\frac{S}{5} = \frac{7}{5} = 1.4 \text{ wheel load / wheel}$$

وبذلك يكون حمل كل من الإطارين الخلفي والوسطي يساوي  $16,000 \times 1.4 = 22,400 \text{ lb}$  بينما حمل الإطار الأمامي يساوي  $4,000 \times 1.4 = 5,600 \text{ lb}$ .

- من خلال نظريات تحليل الإنشاءات المتعلقة بكيفية حساب مقدار وموقع العزم الأقصى لجسر تسيير عليه شاحنة متعددة المحاور ومختلفة الأوزان المسلطة من قبل كل محور نلاحظ مايلي:
- أ- إن مخطط العزوم يتألف من خطوط مستقيمة وإن أقصى عزم يقع مباشرة تحت أحد الإطارات.
- ب- يكون موقع الإطار الذي يسبب العزم الأقصى بحيث ان خط تنصيف الجسر ينصف المسافة بين الأطار ومحصلة وزن الشاحنة (R). لاحظ الشكل-7.
- ت- من خلال الخبرة نعتقد بأن أقصى عزم يقع تحت الأطار الوسطي وليس تحت بقية الإطارات.

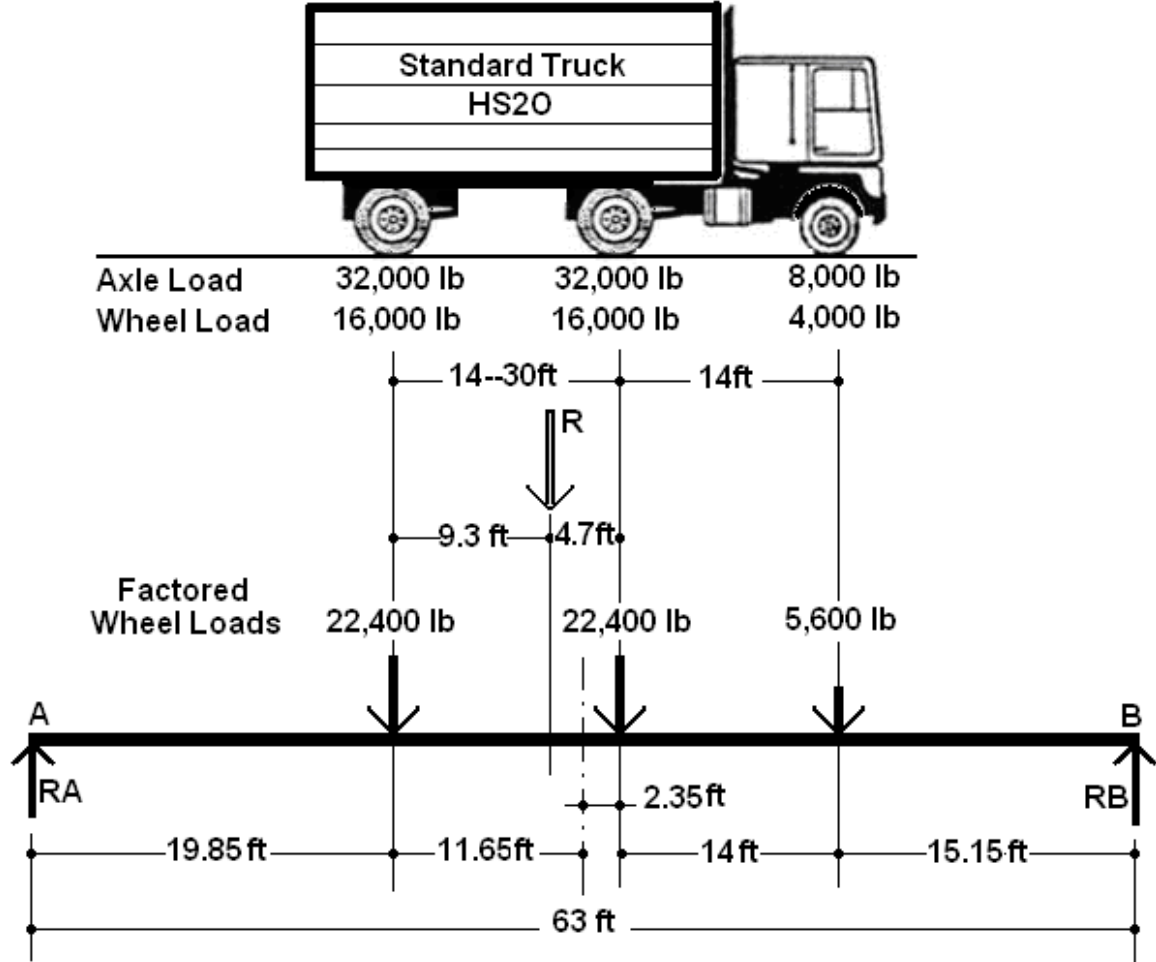


Fig 7- Maximum Live Load Bending Moment on a Girder

$$RB = \frac{22,400 \times 19.85 + 22,400 \times 33.85 + 5,600 \times 47.85}{63} = 23,347 lb$$

$$ML_{\max} = RB \times 29.15 - 5,600 \times 14 = 658,165 ft.lb$$

$$\text{Impact Factor } I = \frac{50}{63 + 125} = 0.266$$

$$MT = 917,000 + 658,165 + 0.266 \times 685,165 = 1,750,000 ft.lb$$



حساب قوى القص المؤثرة على الرافد الداخلي:

قوى القص الناشئة بسبب الأحمال الميتة Dead Load Shears  $V_d$  يوضحها الشكل-8 .

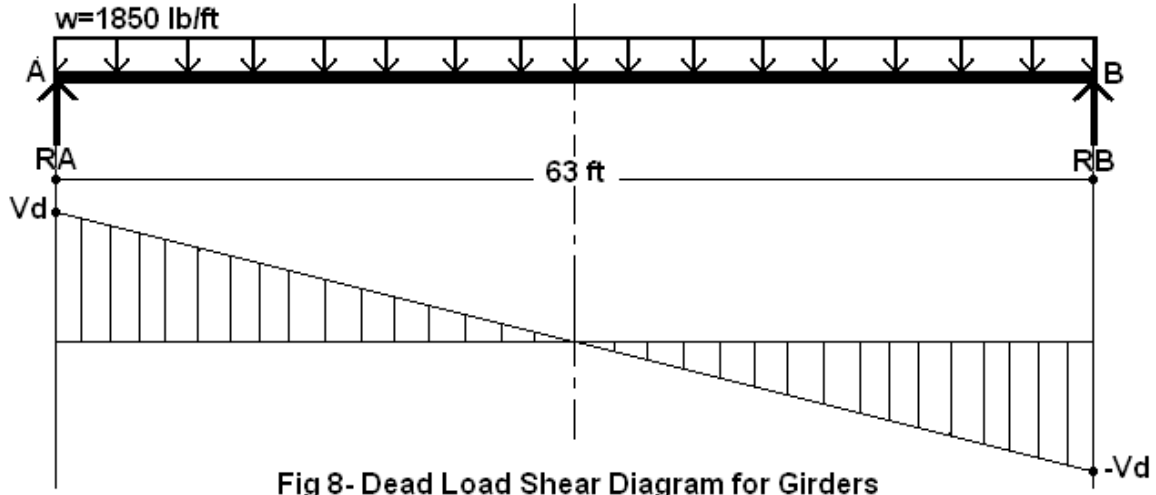


Fig 8- Dead Load Shear Diagram for Girders

$$V_{d_{max}} = 1850 \times \frac{63}{2} = 58,275 lb$$

لحساب قوى القص القصوى بسبب الأحمال الحية ، تكون قوة القص القصوى VL تحت الإطار الخلفي وعندما يكتمل دخول الشاحنة إلى الجسر. لاحظ إن حمل الإطار الخلفي يبقى بدون زيادة بينما تضرب كل من أحمال الإطار الوسطي والخلفي بالمعامل 1.4 ، كما في الشكل-9 .

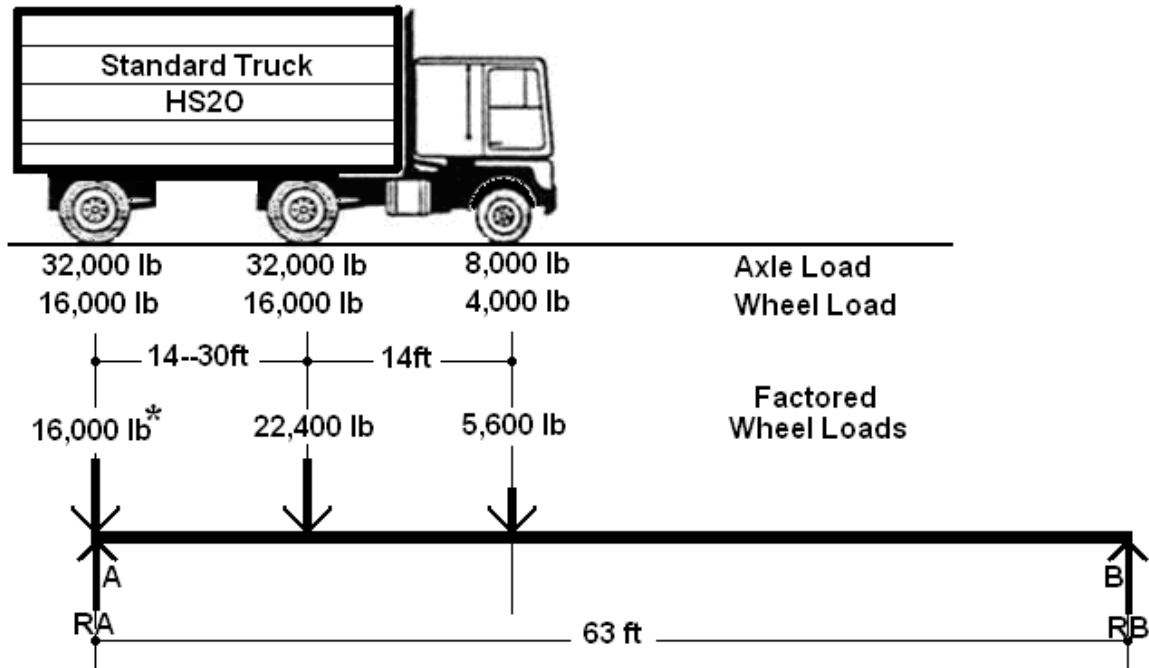


Fig 9- Position and Loading of HS20 Truck to introduce Maximum Shear in an Interior Girder.

$$V_{L_{max}} = RA = (16,000 \times 63 + 22,400 \times 49 + 5,600 \times 35) / 63 = 36,533 lb$$

$$V_T = 58,275 + 36,533 + 0.266 \times 36,533 = 104,526 lb$$

بموجب توصيات كراسة المواصفات AASHTO ، يجري حساب إجهاد القص الأسمي  $v$  Nominal Shear Stress الناشئ بسبب الأحمال الخدمية Service Loads وفق المعادلة التالية:

$$v = \frac{VT}{b_w d}$$

حيث إن  $b_w$  تمثل العرض السفلي للرافد وإن  $v$  تحسب

$$v = 2.95\sqrt{f'_c} = 2.95\sqrt{5,000} = 208 \text{ psi}$$

وفق المعادلة التالية:

وعليه فإن مساحة المقطع المطلوبة تساوي:

$$b_w d = \frac{VT}{v} = \frac{104,526}{208} = 500 \text{ in}^2$$

ولما كنا قد افترضنا إن العرض السفلي للرافد يساوي 20in لذا يكون طول ذراع المقاومة المطلوب  $d_{req}$  يساوي:

$$d_{req} = \frac{500}{20} = 25 \text{ in}$$

إذا افترضنا استخدام ثلاثة طبقات من حديد التسليح #10 ، راجع الملحق-2 ، مع ترك مسافة صافية مقدارها 2in بين أي طبقتين ، وإضافة غطاء خرساني بسمك 2.5in تحت الطبقة السفلى وعلى الجوانب ، بهذه يكون العمق الكلي المطلوب  $h_{req}$  ، كما موضح في الشكل- 10 مقداره:

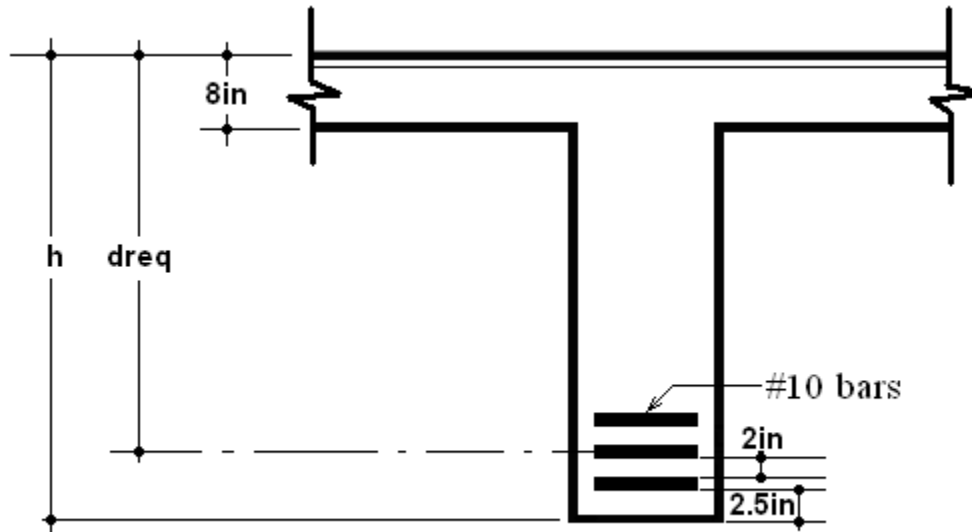


Fig 10- Calculating Girder Depth Requirements

$$h_{req} = 25 + \frac{10}{16} + 2 + \frac{10}{8} + 2.5 = 31.38 \text{ in}$$

ولما كان العمق المتوفر الكلي  $h=48\text{in}$  ، لذا يكون طول ذراع المقاومة المؤثر  $d_{ava}$  يساوي:

$$d_{ava} = 48 - 1 - 2.5 - \frac{10}{8} - 2 - \frac{10}{16} = 40.6 \text{ in}$$

وتكون مساحة حديد التسليح المطلوبة  $A_s$  تساوي:

$$A_s = \frac{MT}{f_s(d - \frac{t}{2})} = \frac{1,750,000 \times 12}{30,000(40.6 - \frac{7}{2})} = 18.855 \text{ in}^2$$

$$\text{Number of \#10 Bars} = \frac{A_s}{A_b} = \frac{18.855}{1.27} = 14.85 \Rightarrow 15 \text{ bars}$$

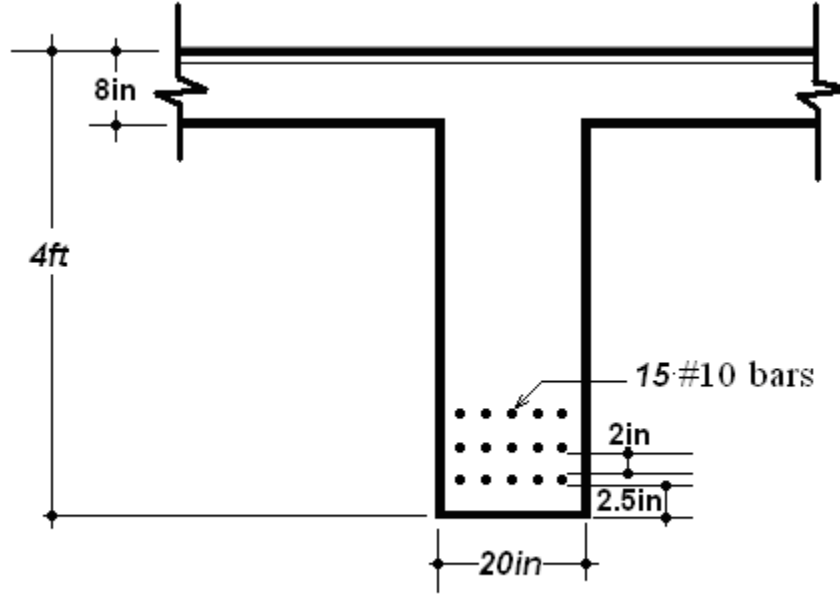


Fig. 11- Cross Section of Interior Girder-Reinforcement Detail

في هذه المرحلة يجب تدقيق إجهادات الإنضغاط والتأكد من عدم تجاوزها للإجهادات المسموح بها للخرسانة. ويتم إعتبار إن جزء الرافد الواقع ضمن البلاطة هو الذي يتعرض فقط للإنضغاط مع أخذ مقاومة تحمل المواد بنظر الإعتبار وكما يلي:

$$n = \frac{29,000,000}{57,000\sqrt{f'_c}} = \frac{29,000,000}{57,000\sqrt{5,000}} = 7.2$$

$$r = \frac{f_s}{f_c} = \frac{30,000}{2,000} = 15$$

$$k = \frac{n}{n+r} = \frac{7.2}{7.2+15} = 0.324$$

$$j = 1 - \frac{k}{3} = 1 - \frac{0.324}{3} = 0.892$$

$$f_c = \frac{MT}{\left(1 - \frac{h_f}{2kd}\right) \times b \times h_f \times j \times d}$$

$$f_c = \frac{1,750,000 \times 12}{\left(1 - \frac{7}{2 \times 0.324 \times 40.625}\right) \times 12 \times 7 \times 7 \times 0.892 \times 40.625} = 1342 \text{ psi} \leq f_{all} 2000 \text{ psi} \Rightarrow O.K$$

## Web Shear Reinforcement

تكون إجهادات القص كبيره قرب المساند وتقل في الوسط، ويكون أخطرهما على مسافة  $d$  عن أي من المسندين. لذا سيجري حساب الإجهادات عند هذه المسافة وكذلك على بعد 10ft عن أي من مسندي الرافد.

$$Vd_{3.4} = 58,275 \times \frac{31.5 - 3.4}{31.5} = 52,012lb$$

$$Vd_{10} = 58,275 \times \frac{31.5 - 10}{31.5} = 39,775lb$$

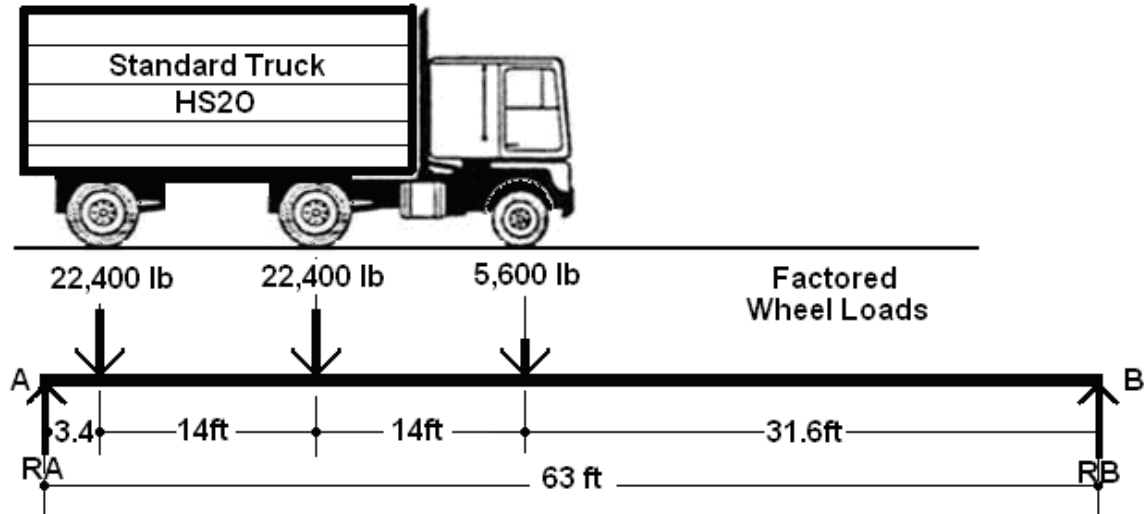


Fig 12 - Position and Loading of HS20 Truck to introduce Maximum Shear at 3.4ft from support of an Interior Girder.

$$VL_{3.4} = RA = (5,600 \times 31.5 + 22,400 \times (45.6 + 59.6)) / 63 = 40,213lb$$

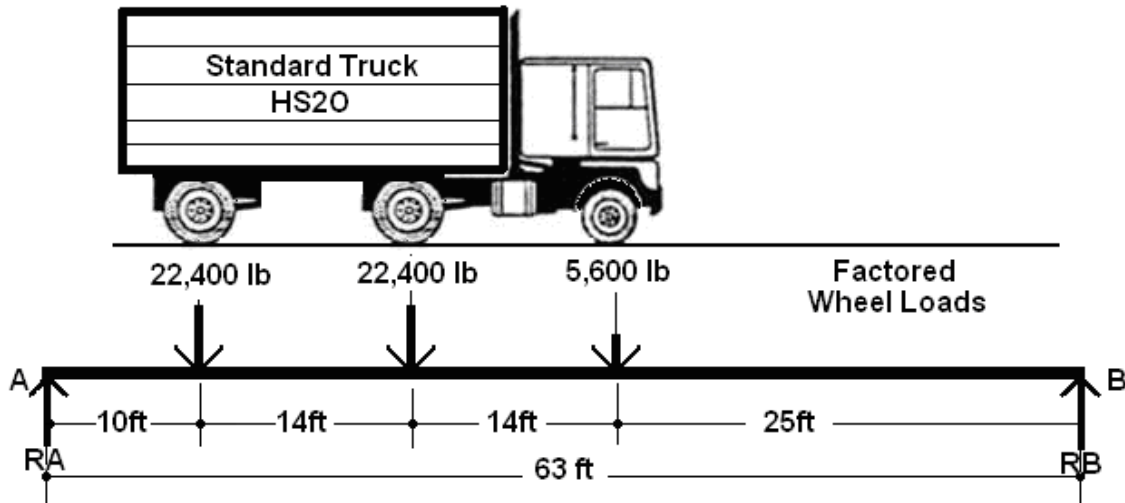


Fig 13 - Position and Loading of HS20 Truck to introduce Maximum Shear at 10ft from support of an Interior Girder.

$$VL_{10} = RA = (5,600 \times 25 + 22,400 \times (39 + 53)) / 63 = 34,933lb$$

$$VT_{3.4} = 52,012 + 1.266(40,213) = 102,922lb$$

$$VT_{10} = 39,775 + 1.266(34,933) = 84,000lb$$

$$\text{Shear Stress } v = \frac{VT}{bd}$$

$$v_{3.4} = \frac{102,922}{20 \times 40.625} = 127 \text{ psi}$$

$$v_{10} = \frac{84,000}{20 \times 40.625} = 104 \text{ psi}$$

لما كانت الخرسانة تتحمل إجهاد قص إسمي مقداره:

$$v_c = 0.95\sqrt{f'_c} = 0.95\sqrt{5,000} = 67 \text{ psi}$$

ولما كانت المواصفة لاتسمح بإستخدام مسافات تباعد بين ال Stirrups تزيد عن  $d/2$  أي  $40.625/2=20in$  . إذاً، عندما نستعمل حديد تسليح #5 بمسافات التباعد القصوى تكون مقاومة الحديد لإجهادات القص تساوي:

$$v - v_c = \frac{Av \times f_s}{s \times b_w} = \frac{0.62 \times 30,000}{20 \times 20} = 46 \text{ psi}$$

بينما مقاومة المقطع لإجهادات القص تساوي:

$$67 + 46 = 113 \text{ psi}$$

أي إن ذلك ممكن أن يغطي المسافة الوسطية البالغة:

$$63 - 2 \times 10 = 43 \text{ ft}$$

أما خارج هذه المنطقة ، أي كل من المنطقتين القريبتين من المساند والبالغ طول أي منهما عشرة أقدام، فتكون مسافات تباعد ال Stirrups فيها تساوي:

$$s = \frac{Av \times f_s}{(v - v_c)b_w} = \frac{0.62 \times 30,000}{(127 - 67) \times 20} = 15.5in \Rightarrow 15in$$

لاحظ كيفية توزيع ال Stirrups في الشكل-14 .

وكامل المخططات التصميمية في الشكل-15 .

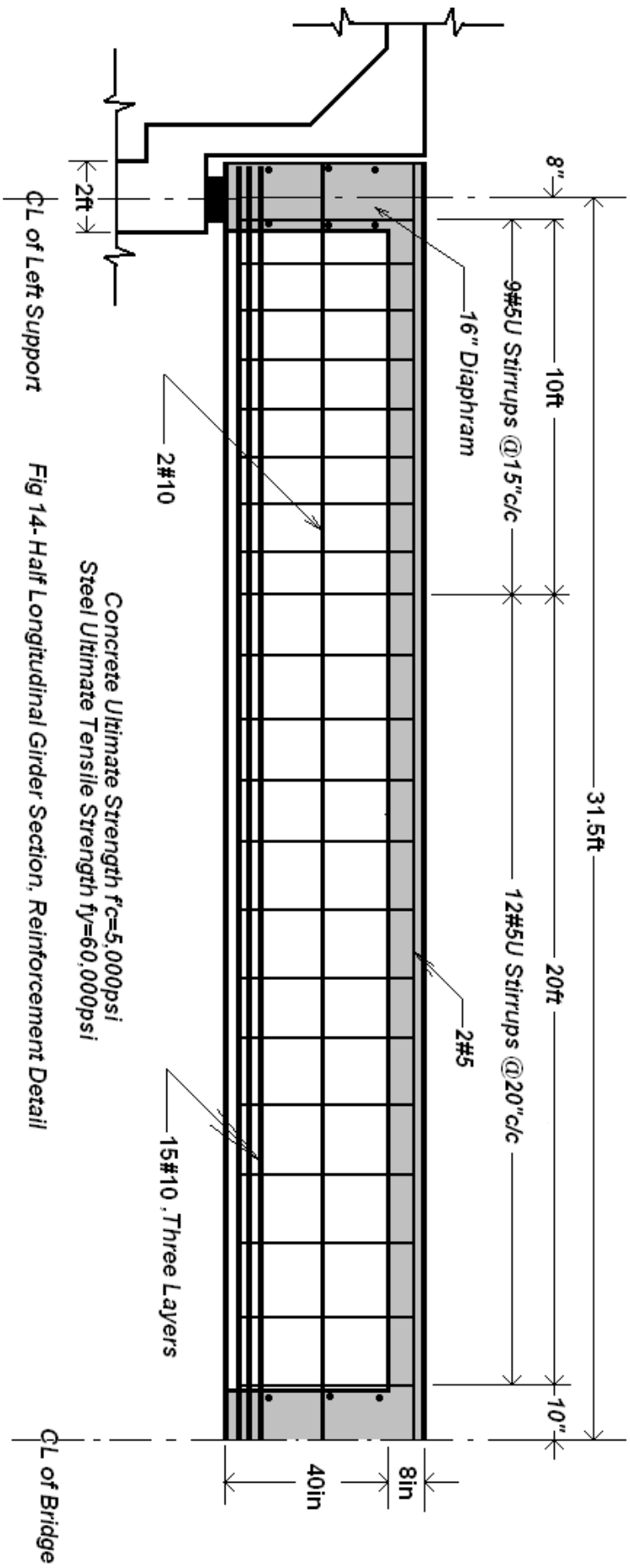


Fig 14- Half Longitudinal Girder Section, Reinforcement Detail

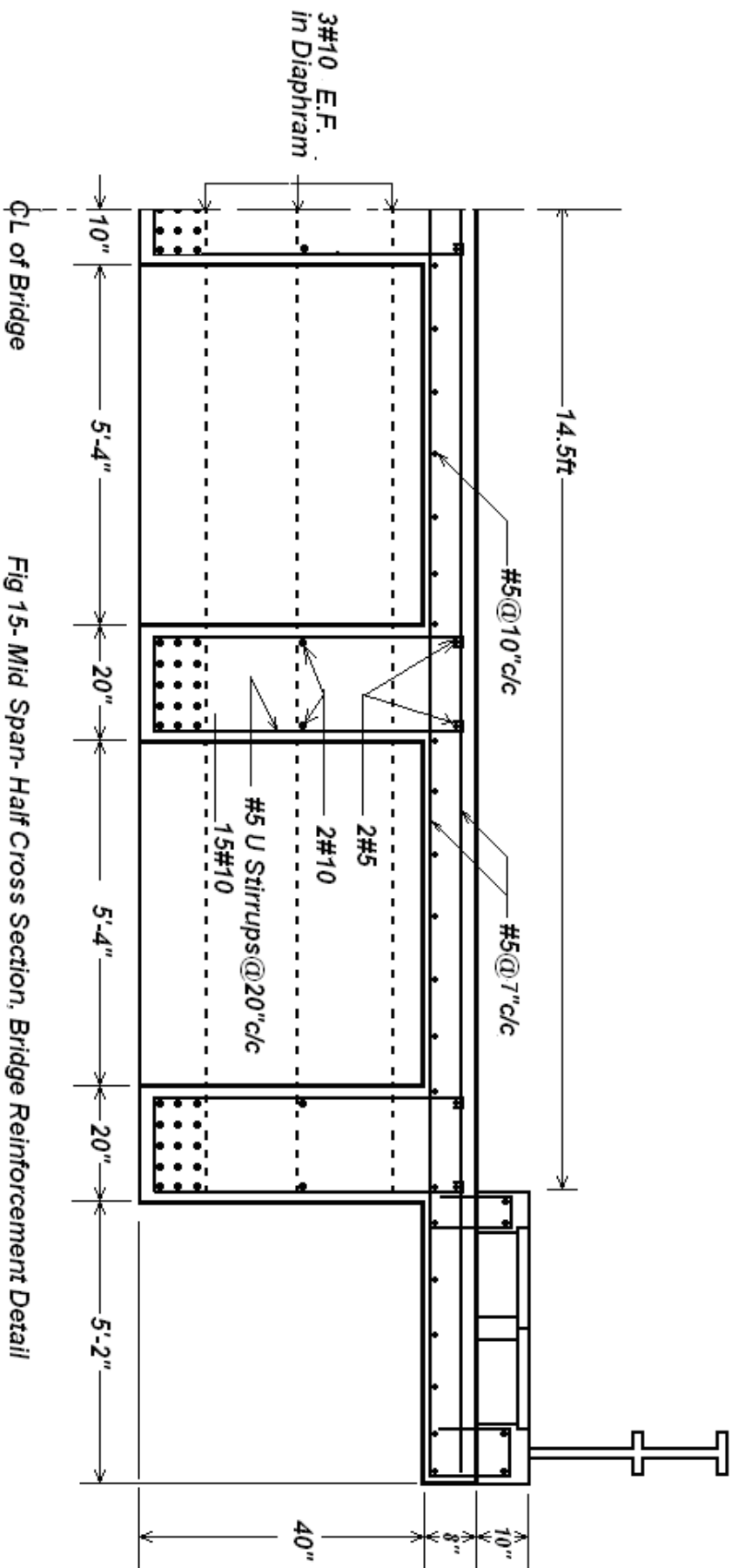


Fig 15- Mid Span- Half Cross Section, Bridge Reinforcement Detail  
**G40 Steel for Deck-Slab, G60 Steel for Girders**

الملحق-1-

جدول مُعامِلات تحويل وحدات القياس		
Conversion factors, U.S. customary units to SI metric units		
<b>Overall Geometry</b>		<b>الأبعاد بصوره</b>
Spans	1ft = 0.3048m	الأطوال
Displacements	1in = 25.4mm	الإزاحات
Surface area	1ft <sup>2</sup> = 0.0929m <sup>2</sup>	المساحه السطحيه
Volume	1ft <sup>3</sup> = 0.0283m <sup>3</sup>	الحجم
	1yd <sup>3</sup> = 0.765m <sup>3</sup>	
<b>Sructural Properties</b>		<b>الخواص</b>
Area	1in <sup>2</sup> = 645.2mm <sup>2</sup>	المساحه
Section modulus	1in <sup>3</sup> = 16.39×10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	معاير المقطع
Moment of inertia	1in <sup>4</sup> = 0.4162 × 10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	عزم القصور الذاتي
<b>Loadings</b>		<b>التحميل</b>
Concentrated loads	1lb = 4.448N	الأحمال المُركّزه
	1kip = 4.448kN	
Density	1lb/ft <sup>3</sup> = 0.1571kN/m <sup>3</sup>	الكثافه
Linear loads	1kip/ft = 14.59kN/m	الأحمال الخّطيّه
Surface loads	1lb/ft <sup>2</sup> = 0.0479kN/m <sup>2</sup>	الأحمال السطحيه
	1kip/ft <sup>2</sup> = 47.9kN/m <sup>2</sup>	
<b>Stress and moments</b>		<b>الإجهادات والعزوم</b>
Stress	1lb/in <sup>2</sup> = 0.006895MPa	الإجهاد
	1kip/in <sup>2</sup> = 6.895MPa	
Moment or tourque	1ft.lb = 1.356N.m	العزم أو الإلتواء
	1ft.kip = 1.356kN.m	



## الملحق-2-

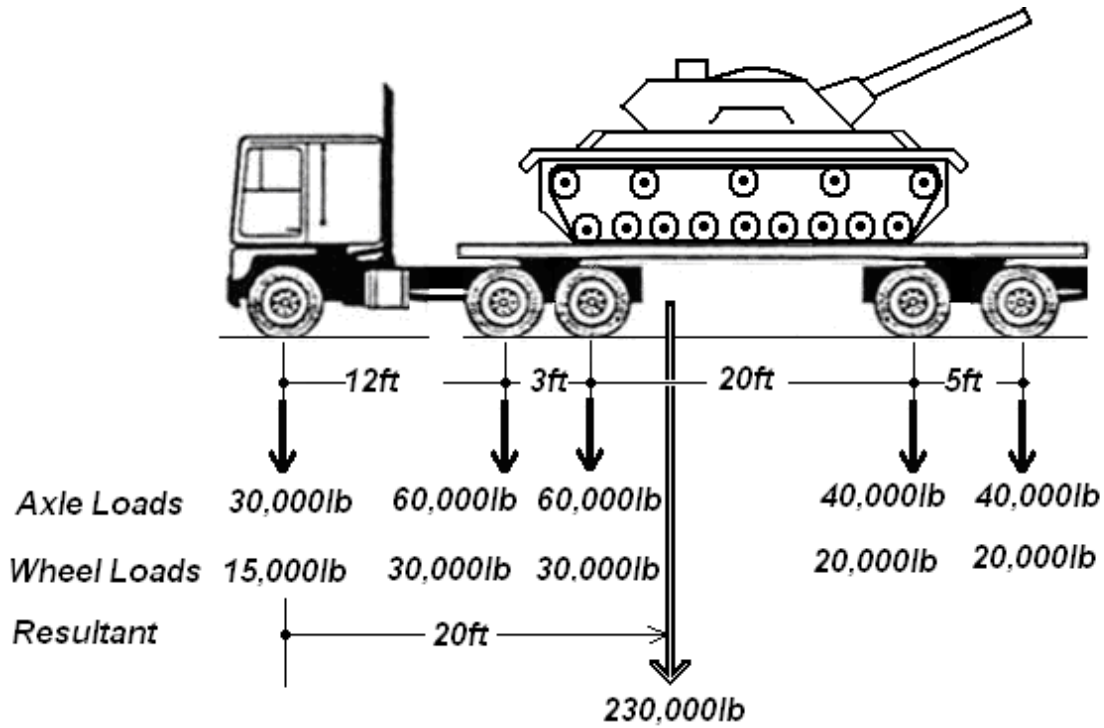
قياس وقطر ومساحة مقطع ومحيط ووزن قضبان حديد التسليح (units U.S)				
Bar No.	Diameter	c/s Area	Perimeter	Unit weight
#	in	in <sup>2</sup>	in	lb/ft
2	¼	0.05	0.79	0.167
3	(3/8)	0.11	1.18	0.376
4	½	0.2	1.57	0.668
5	(5/8)	0.31	1.96	1.043
6	¾	0.44	2.36	1.502
7	(7/8)	0.6	2.75	2.044
8	1	0.79	3.14	2.67
9	(9/8)	1	3.54	3.4
10	(10/8)	1.27	3.99	4.303
11	(11/8)	1.56	4.43	5.313
14	(14/8)	2.25	5.32	7.65
18	(18/8)	4	7.09	13.6

قياس وقطر ومساحة مقطع ومحيط ووزن قضبان حديد التسليح (SI units)						
Bar No.	القطر Ø	مساحة المقطع	المحيط	الوزن لكل متر	وزن القضيب	عدد القضبان (طول 6 متر) في كل طن
	mm	mm <sup>2</sup>	mm	kg	kg	عدد
2	6.3	32	20	0.25	1.5	666
3	9.5	71	30	0.56	3.36	297
4	12.7	129	40	1	6	166
5	15.8	200	50	1.55	9.3	107
6	19	283	60	2.23	13.41	74
7	22.2	387	70	3.04	18.25	54
8	25.4	509	80	3.97	23.84	42
9	28.5	645	90	5.06	30.36	33
10	31.7	819	100	6.4	38.42	26
11	34.9	1006	110	7.91	47.44	21
14	44.4	1451	135	11.38	68.3	≈ 14.6
18	57.1	2580	180	20.24	121.42	≈ 8.2

## الأحمال العسكرية:

من الواضح إن التصميم السابق للجسر تحت تأثير الشاحنة القياسية HS20 التي أوصت بها المواصفة القياسية AASHTO تجعل الجسر قادراً على تحمل مرور الأحمال الاعتيادية بصورة آمنة واقتصادية. إلا أن هناك حالات يكون الجسر فيها معرضاً لمرور أحمالاً استثنائية ثقيلة كالأحمال العسكرية التي تجعل الجسر يتعرض لإجهادات قاسية قد تؤدي لتضرره أو انهياره. لذا أوصت المواصفة القياسية العراقية للطرق والجسور باعتماد المواصفة القياسية الكندية للأحمال العسكرية الممكن مرورها على الجسور. يوضح الشكل أدناه الأحمال والأبعاد للشاحنة العسكرية القياسية Class 100 والتي سيتم تدقيق تحمل الجسر تحت تأثيرها:

### Military Bridge Loading Standard Vehicle Class 100



Span of Concrete Bridge (ft)	Impact Factor
0	0.40
6	0.39
20	0.37
33	0.36
65	0.32
98	0.28
130	0.24
164	0.12
More than 164	0.00

### Deck Slab check:

$$Md = 412 \text{ ft.lb}$$

$$ML = 0.8 \times \frac{5.33 + 2}{32} \times 30,000 = 5497 \text{ ft.lb}$$

$$I = 0.32$$

$$MT = 412 + 1.32 \times 5497 = 7670 \text{ ft.lb}$$

For Military Loading, it is allowed to overstress materials as follows:

+25% for Steel

+33% for Concrete

$$f_s = 0.75 \times f_y = 0.75 \times 60,000 = 45,000 \text{ psi}$$

$$f_c = 0.73 \times f'_c = 0.73 \times 5,000 = 3650 \text{ psi}$$

$$n = 7.2$$

$$r = \frac{45,000}{3650} = 12.33$$

$$k = \frac{7.2}{7.2 + 12.33} = 0.37$$

$$j = 1 - \frac{0.37}{3} = 0.877$$

$$d_{req.} = \sqrt{\frac{2 \times 7670 \times 12}{3650 \times 0.37 \times 0.877 \times 12}} = 3.6 \text{ in}$$

$$d_{ava.} = 8 - 1 - 1 - \frac{5}{16} = 5.6 \text{ in} \geq d_{req} 3.6 \text{ in} \Rightarrow O.K$$

$$As = \frac{7670 \times 12}{45,000 \times 0.877 \times 5.6} = 0.42 \text{ in}^2 / \text{ft}$$

$$Spacing = \frac{0.31}{0.42} = 0.75 \text{ ft} = 8.9 \text{ in} \Rightarrow 8 \text{ in}$$

**Use G60, #5@8'' c/c, T&B**

By using the maximum secondary reinforcement of 67% of the main reinforcement, spacing of #5 bars can be calculated as follows:

$$\frac{8.9}{0.67} = 13.3 \text{ in}$$

**Use G60, #5@12'' c/c**

### Interior Girder check:

$$Md = 917,000 \text{ ft.lb}$$

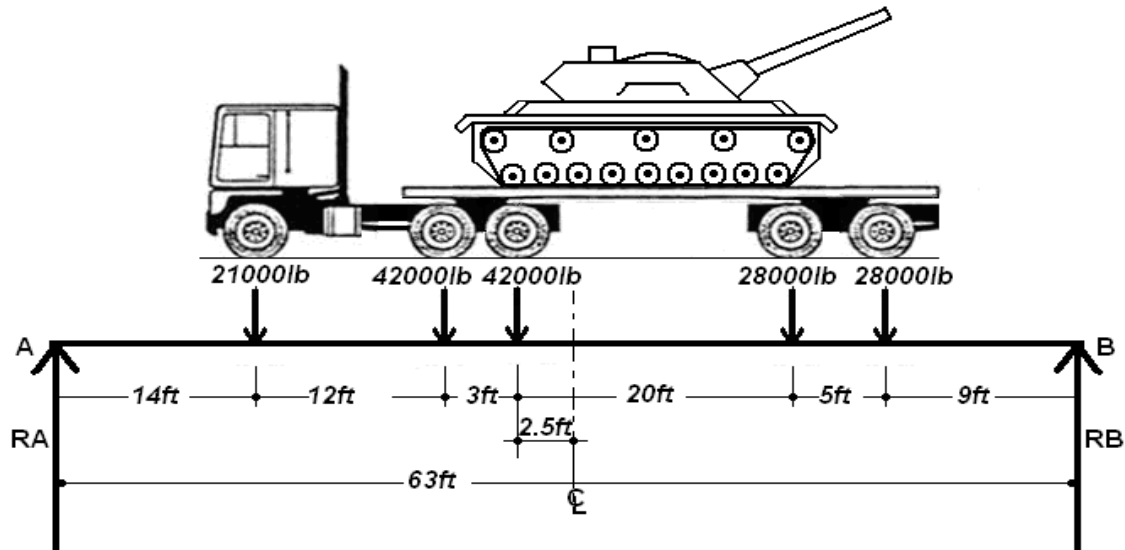


Fig 17- Position of factored wheel loads of Class 100 vehicle to produce maximum bending moment on an interior girder

$$63 RA = 28,000 (9 + 14) + 42,000 (34 + 37) + 21,000 \times 49 \Rightarrow RA = 73,888 \text{ lb}$$

$$ML = RA \times 29 - 21,000 \times 15 - 42,000 \times 3 = 1,701,777 \text{ ft.lb}$$

$$MT = 917,000 + 1.32 \times 1,701,777 = 3,163,345 \text{ ft.lb}$$

### Girder dimensions check:

$$Vd = 58,275 \text{ lb}$$

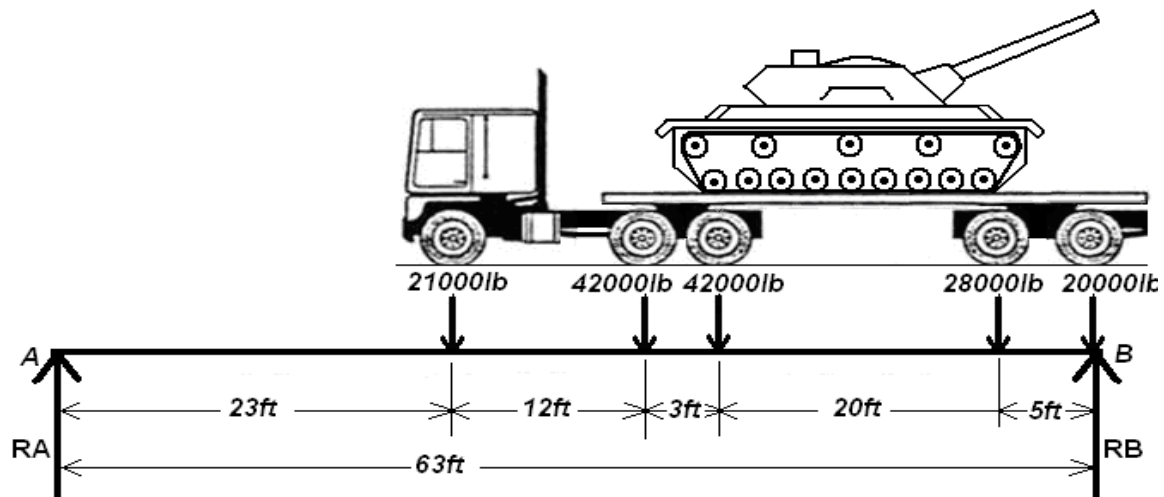


Fig18 - Position of factored wheel loads of Class 100 vehicle to produce maximum Shear force on an interior girder

$$VT = 58,275 + 1.32 \times 102,111 = 193,061 \text{ lb}$$

$$v = 1.33 \times 2.95 \sqrt{f'_c} = 277 \text{ psi}$$

$$b_w d = \frac{VT}{v} = \frac{193,061}{277} = 696 \text{ in}^2$$

$$d_{req.} = \frac{696}{20} = 34.8 \text{ in}$$

$$d_{ava.} = 48 - 1 - 2.5 - \frac{10}{8} - 2 - \frac{10}{16} = 40.625 \text{ in} \geq d_{req.} 34.8 \text{ in} \Rightarrow O.K$$

$$A_s = \frac{3,163,345 \times 12}{45,000(40.625 - \frac{7}{2})} = 22.722 \text{ in}^2$$

$$\frac{A_s}{A_b} = \frac{22.722}{1.27} = 17.89 \Rightarrow 18 \text{ bars}$$

**Use 18#10, three layers**

**Concrete compression check:**

$$f_{c_{act.}} = \frac{3,163,345 \times 12}{(1 - \frac{7}{2 \times 0.37 \times 40.625}) \times 12 \times 7 \times 7 \times 0.837 \times 40.625} = 2475 \text{ psi} \leq f_{c_{all.}} 3650 \text{ psi} \Rightarrow O.K$$

**Shear reinforcement check:**

$$\frac{Vd_{3.3}}{31.5 - 3.3} = \frac{58,275}{31.5} \Rightarrow Vd_{3.3} = 52,170 \text{ lb}$$

$$\frac{Vd_{15}}{31.5 - 15} = \frac{58,275}{31.5} \Rightarrow Vd_{15} = 30,525 \text{ lb}$$

According to Fig. 19,  $VL_{3.3} = 100,122 \text{ lb}$

According to Fig. 20,  $VL_{15} = 71,778 \text{ lb}$

$$VT_{3.3} = 52,170 + 1.32 \times 100,122 = 184,331 \text{ lb}$$

$$VT_{15} = 30,525 + 1.32 \times 71,778 = 125,272 \text{ lb}$$

$$v_c = 1.33 \times 0.95 \sqrt{f'_c} = 89 \text{ psi}$$

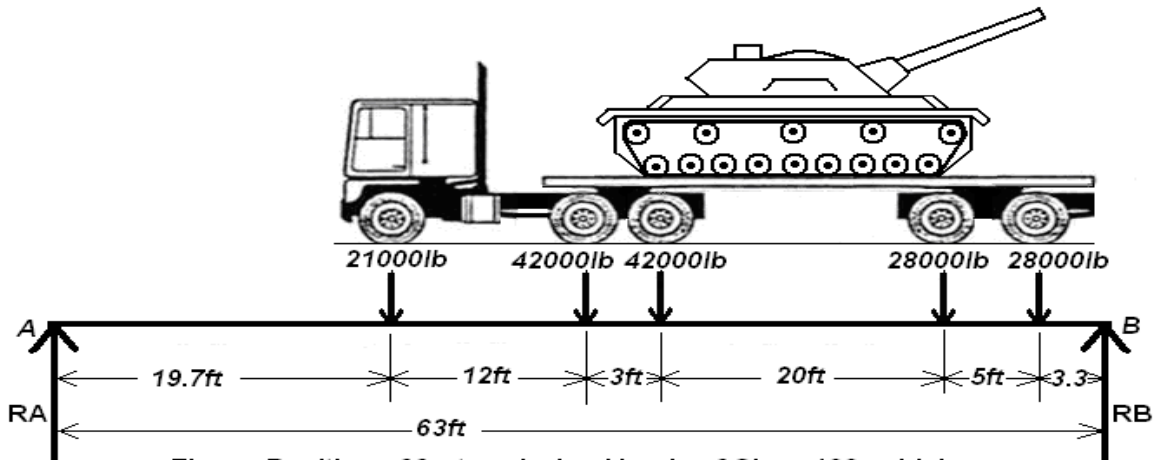


Fig19 - Position of factored wheel loads of Class 100 vehicle to produce maximum Shear force at 3.3ft away from the support of on an interior girder

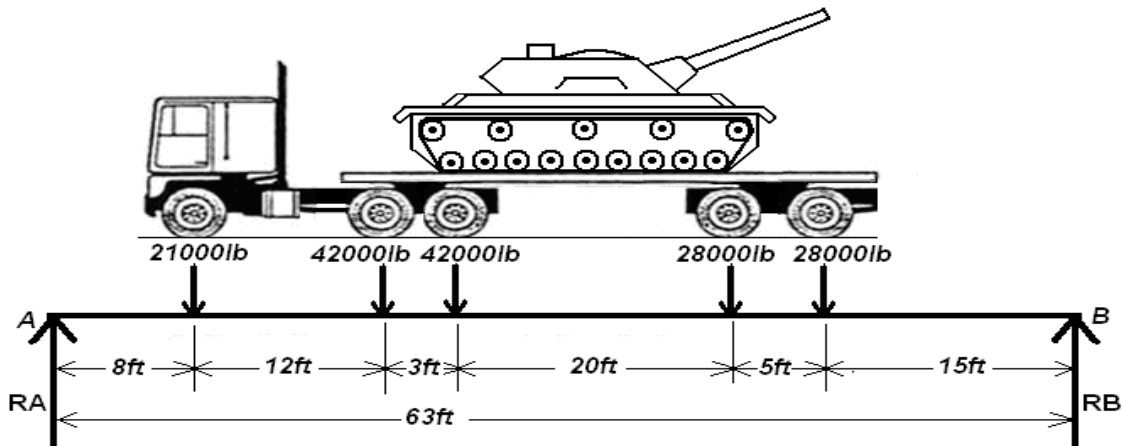


Fig20 - Position of factored wheel loads of Class 100 vehicle to produce maximum Shear force at 15ft away from the support of on an interior girder

By using the maximum allowed spacing of  $d/2=20\text{in}$ , the steel #5 bars will resist:

$$v - v_c = \frac{A_v \times f_s}{s \times b_w} = \frac{0.62 \times 45,000}{20 \times 20} = 70 \text{ psi}$$

Then the section shear resistance will be  $89+70=159 \text{ psi}$

It is clear that the maximum allowed spacing of 20in will be enough to cover all the intermediate distance up to 15ft from each support.

The remaining two distances -15ft from support- will be provided with #5 stirrups spaced at:

$$s = \frac{A_v \times f_s}{(v - v_c) \times b_w} = \frac{0.62 \times 45,000}{(227 - 89) \times 20} 10.1 \Rightarrow 10 \text{ in}$$

**Use #5 U Stirrups@10'' c/c**

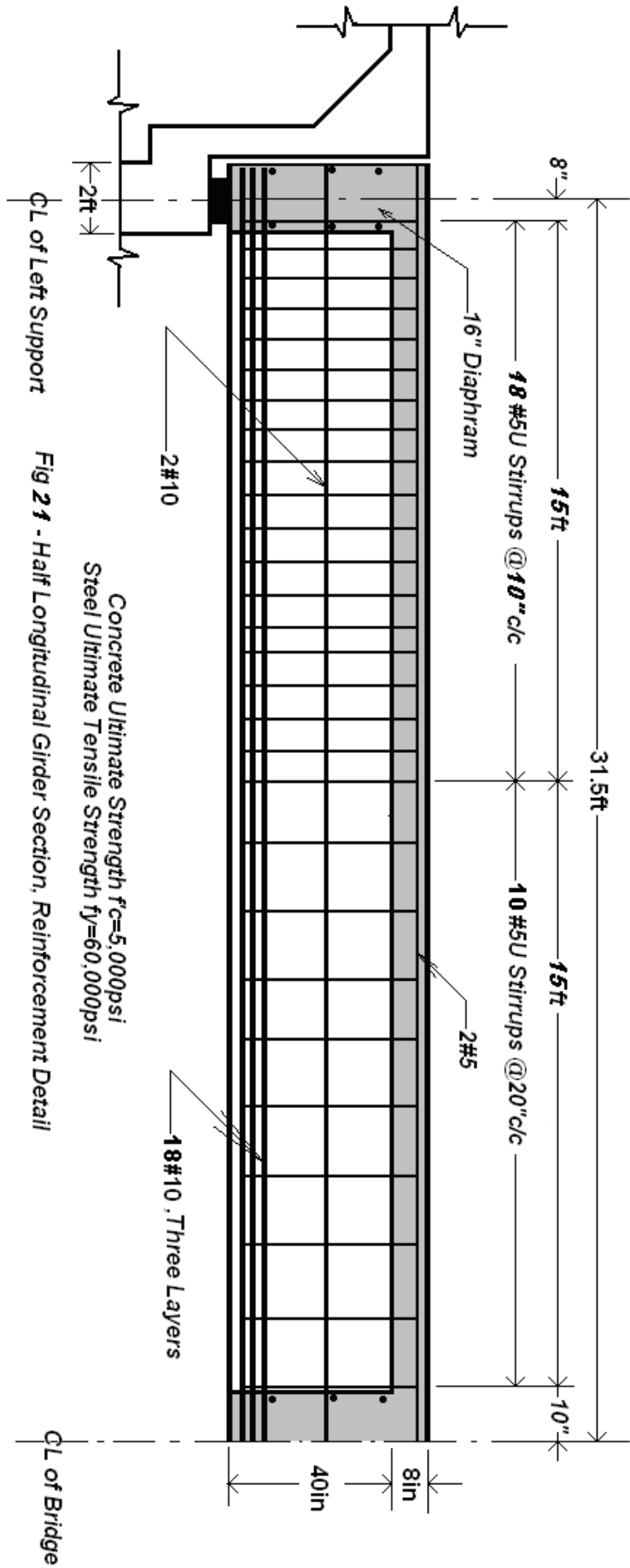


Fig 21 - Half Longitudinal Girder Section, Reinforcement Detail

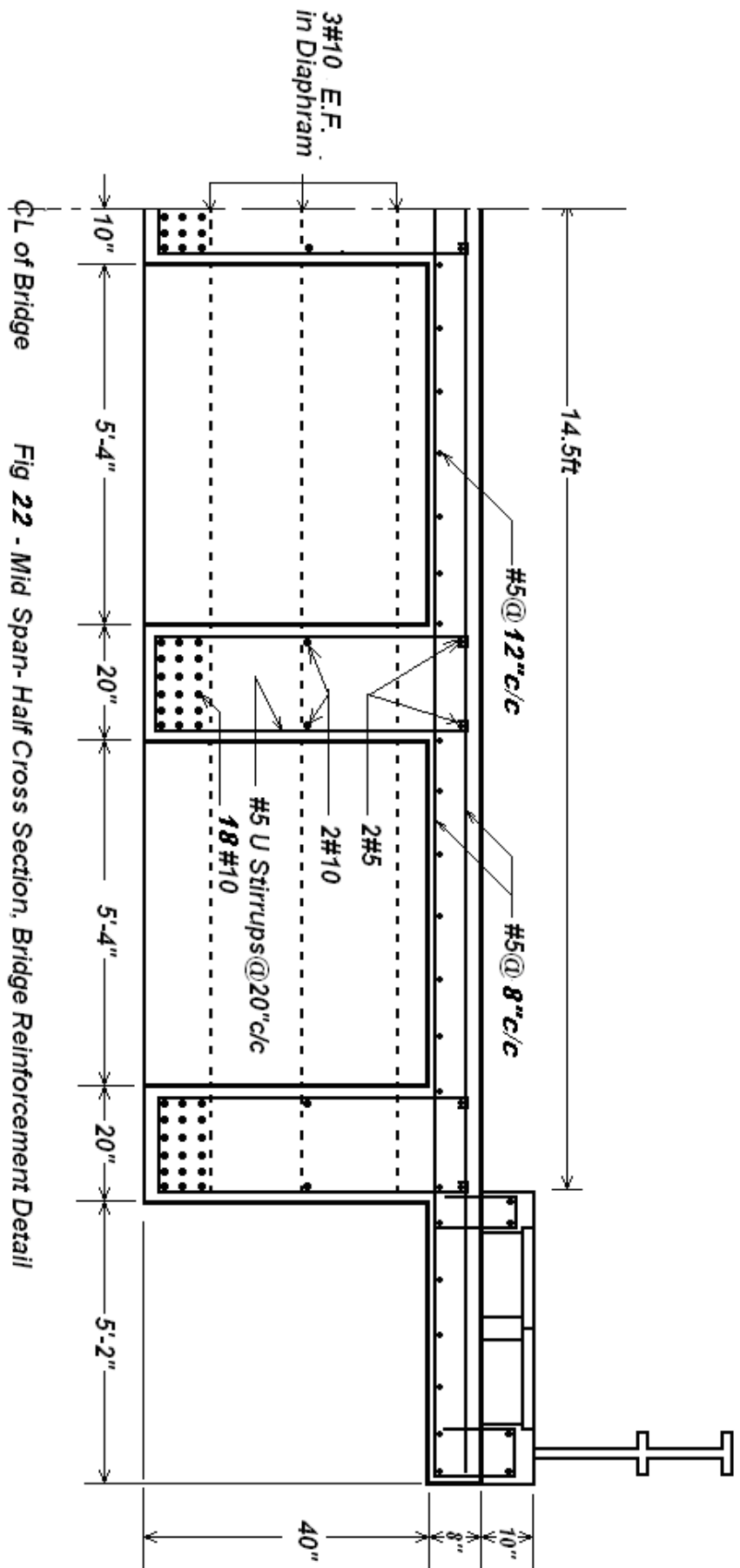


Fig 22 - Mid Span-Half Cross Section, Bridge Reinforcement Detail

-24-