CE 451 — 16.09.2017

Shamsul Haque Sir

* Flexible and rigid pavements

Pavement Design

* Road এর জন্য weather অনেক important.
- Water, rainfall, moisture, extreme hot weather, etc. অর্থাৎ parameter অনেক,

* Direct proof করা যায় না, semi-empirical formula use করব। Analytically solve করতে পারি না building এর মত।

* কিছু observational, কিছু science — semi-empirical.

* building এর footprint কম, road linearly elongated. এজন্য soil type change হতে থাকে।

* বাংলাদেশের সমস্যা —

Generally bitumin এর coating থাকে aggregate এর উপর। এই পানি যদি pass না করে জমে থাকে এবং এর উপর দিয়ে overloaded vehicle চললে তখন crack form হয়। Aggregate এর পানির

প্রতি affinity ~~র~~ থাকায় এরকম crack form হলে পানি শোষণ করে road ক্ষতিগ্রস্ত হয়।

** রাস্তার design vehicle - heavy weight bus and truck.

* axle - মাঝখানে shaft ⇒ দুইদিকে ~~দুই~~ numatic tire. - tire ১ দিকে ১টি বা ২টি করে হতে পারে।

* GVW → Gross Vehicle Weight. → Manufaturer, determined

6 wheeler → ~~GVW~~ 16 ton. (16.2 ton)

GVW (6 W) → আমাদের দেশে 15 ton.

4 axle → 32 ton } according to
5 axle → 42 ton } manufecturer.

* Road design করি load on a axle এর উপর, একটি tire এর contact area কত, সেটির উপর depend করে stress

concentration করে। যদি বেশি load নিতে চাই, axle সংখ্যা বাড়াতে হবে।

* রেইলী ব্রীজ directly ভেঙে পারে।
* Concrete bridge ভেঙে না পারলেও প্রথমে hairline crack form করে, then accumulated হতে হতে road এর life time কমায় ফেলে।

* undulated রাস্তায় impact load এর কারণে প্রায় 20% বেড়ে যায় static load থেকে, যখনই একবার অতিক্রম করে, হবে continuously হতেই থাকে, সোজা রাস্তায় only static load থাকে, no impact load

* Root causes:

overloading
drainage
Congestion : তখন bitumin এই load নিতে পারে না। Due to creep. অনেক সময় ধরে load থাকলে তখন bitumin এর shape change হয়।

23.09.2017

Philosophy of pavement design:

— চারদিকে এত বোঝা confinement use করব, material গুলো বোঝা load নিতে পারবে।

Components of flexible pavement.

* Subgrade (মাটি - natural soil) এর উপর রাস্তা বানাই।

* আমাদের দেশের subgrade low-lying বলে এর উপরে আরো কিছু মাটি add করতে হয়। তখন বলে improved subgrade.

* যেখানে চাপ বেশি সেখানে rich material দিতে হবে।

* Improved subgrade এর উপরে granular material but of low quality দেয়া হয় (brick aggregate)

* Base course এ দেই stone aggregate
(stone chips, well graded)
* উপরের layer এ binding material
লাগাবে। যদি rigid pavement হয় → cement
" flexible " " → ashphalt
or bitumin.

* Surface course এর উপর wearing course
দেওয়া হয় surface course কে intact
রাখার জন্য। Calculated thickness surface
course মাত্রে দিয়েই দিতে হবে।

* 6 টি layer হচ্ছে আদর্শ।

** CBR → Bearing capacity indicate করে।
└→ California Bearing Ratio test.

** 8/এর নীচে হলে রাস্তা টিকবে না।
[CBR এর value calculate করে রাখতে হবে]

Classification of Pavements

* রাস্তা undulated হলে impact load আসে।

HBB → Herring Bond Bond

↳ Ceramic brick use করে করা হয়।

* Shingle → no binding material.

7.10.2017

* আজকের lecture CT syllabus :

* Pavement traffic load subgrade এর মধ্যে distribute করে।

Functions: Waterproof (impervious) layer তৈরী করে যাতে sub-grade dry থাকে।

* Rounded material হলো load নেয় কম।

* যদি rounded না হয়ে crushed হয়, তখন friction এর কারণে বেশি load নিতে পারে, Interlocking হয়।

* Crushed aggregate কে আলাদা করে binder material জরুরী হয় না। কারণ load এর কারণে stone ভেঙে dust হতে থাকে। Stone dust binding material হিসাবে কাজ করে। এখান থেকে PCC এর concept আসে।

* Rigid pavement → single layer system.
Flexible " → Multiple " "

Rigid pavement → load এর influence area অনেক বেশি, কারণ pavement নিজে deflect হতে পারে না।
→ Global action.

Flexible pavement: local action হয়।
→ অনেক কিছু জায়গা deflect করতে পারে,
→ বেশি thickness দিতে হয় যেন
influence area টা বেশি হয়।

Flexible pavement:

* Interlocking থেকে friction হবে,
* Shear force .....
* Binder material থেকে cohesion আসে।
* flexural strength কম বলে locally punch হতে পারে।
* Rebound করে যায় আবার actual level এ
* surface এ যে undulation হয়, তার reason subgrade undulated. কারণ compaction সবজায়গায় same করা হয়নি

* Flexible pavement এর performance directly depend করে subgrade এর উপর।

Weakness:

* Summer → গলে যায়।
  Winter → বেঁকে যায়!!
  Rainy season → ভেঙে যায়!!!

→ হায়! হায়! রাস্তা কোন কর্মে??

↳ Solution: Polymer Modified Bitumen ব্যবহার করা
   ↳ tyre এর material দিয়ে তৈরী জিনিস bitumin এর সাথে mix করা হয়।

Rigid Pavement:

→ Slab action হয়। অর্থাৎ নীচে subgrade এ যদি গর্তও থাকে, কোন locally punch হবে না।

→ Initial cost বেশি, maintenance cost কম। Generally whole-life cost consider করলে এটা economical.

→ আমাদের দেশের condition এ rigid pavement বেশি জরুরী।

* Concrete pavement এ rounded particle use করলেই হয়, crushed জরুরী না। Flexible ~~Rigid~~ এ লাগে কারণ: তারা যেখানে আছে, সেখানের aggregate নীচে নামতে চায়। তখন angularity এর কারণে interlocking দ্বারা load carried হয়।

Rigid এ individually কোন aggregate load carry করে না।

Problem:

→ ১বার ঢালার পর আর ঠিক করা যায় না।

→ কারণ নতুন করে দিলে property same হয় না। expansion or contraction diff. হয়।

☐ Semi-rigid :
→ উপরে pcc + নীচে bitumin
Or → " bitumin + নীচে pcc

☐ Types of Flexible Pavement

* Dense graded → minimum void.
  ↳ বড়টা নিব, Void calculate করবো।
    ↳ Void ~~er~~ fillup এর জন্য ছোট size use করবো। Then আবার void calculate করবো।
      ↳ আরো ছোট size নিব।

* Open graded → Coarse material বেশি,
* Gap graded → Intermediate size এর aggregate নাই,

Full depth pavement: সমস্ত base টাই bitumin ~~cement~~ দিয়ে bonded থাকে।

Partial depth pavement: Base course এর উপরের portion এ bitumin দিয়ে bonded থাকে, নীচের portion এ থাকে না।

Next class C.T. ⇒ history বাদে বাকি যা পড়ানো হয়েছে।

*

25.11.2017

Rigid Pavement

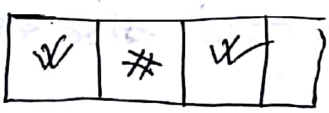
* CBR<3 হলে code suggest করে রাস্তা বানানো উচিত না, সেক্ষেত্রে existing material সরিয়ে additional layer দিতে হয়।

* Base বা sub-base course যেকোন একটা'র দিব।

* Pannel by pannel construction.

* Longitudinal joint

* Pannel by pannel করার সুবিধা:



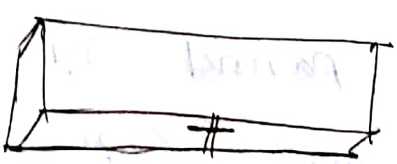
প্রথমে ✓ গুলো shuttering দিয়ে construct করবো, তাহলে পরে # গুলোর সময় আর shuttering লাগবে না।

* Normal pannel এর shrink কে tackle দেওয়ার জন্য re-bar এর mesh use হয়। একে বলে temperature & shrinkage bars.

* যখন কোন pannel এর edge এ load আসে, বৃষ্টির সময় joint এ পানি ঢুকবে,

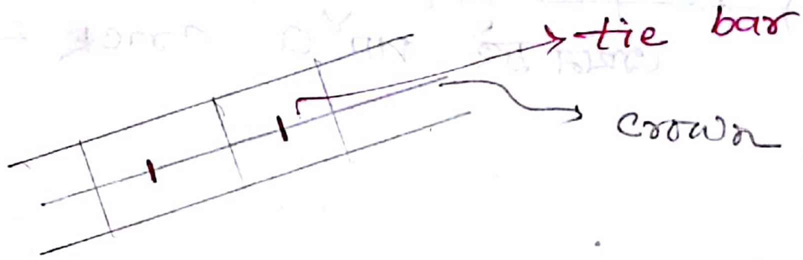
ফলে load আসলে pumped water or pore pressure এ পরিণত হয়, উপরে উঠে-আসে। ফলে নীচে কোন supporting material নেই- তাই cantilever করে দেয় এবং crack form করে।

* Load transferring device হল dowel bar
* Cantilever settlement resist করে, তাই size বড়।
* Dowel বার নেয় shear.
* ~~সে load নেয় না~~। অনেক মোটা।
* উপরের part নামতে গেলে dowel shear দিয়ে বাধা দেয়।
* Pumping এর কারণে induced settlement কে বাধা দেয়।
* Plain bar
skin very smooth.

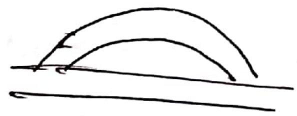


* Size 30 to 32 থেকে start.

* Crown থাকলে load আসলে surface টা side এ সরে যেতে চাবে। এজন্য tie বার ব্যবহার হয়। এর concrete এ embedded হয়।



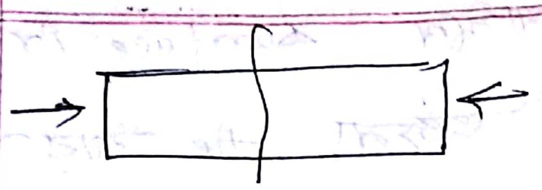
** concrete road এর main enemy হল weather.

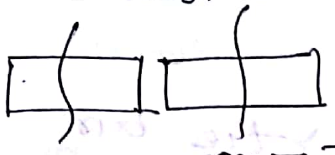
* দুপুরে যখন top surface expand করতে চায়, নীচের layer তখন ঠান্ডা, সেটি shrink হয়ে যায়। So  এরকম হয়।

আবার সকালে উপরের পার্ট এ বেশি ঠান্ডা, নীচে কম। So  এরকম হবে।

** What would be the equilibrium pannel size? [যখন ~~transfer~~ temperature reinforcement লাগে না]

⇒ 6.1 meter ~~of~~ or 20 ft





এখন দুই পার্ট এ crack হচ্ছে।

** JPCP:

কোন rebar নাই,

joint থাকলে riding quality ভালো হয় না, ধাক্কা খায়,

* JRCP:

Re-bar used.

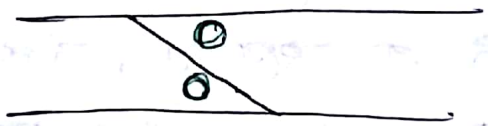
** Dowel bar বসবে neutral axis এ,

* Approach slab

* Cantilever এ concrete খারাপ কেন?

কারণ cantilever এ উপরে tension আসে, concrete নিতে পারে mainly compression. তাই উপরে rod দিতে হবে,

* pannel এর joint যদি skewed করে দেওয়া হলে,



50-50 load নিবে দুই pannel.

* staggering হলেও same.

Function wise joint:

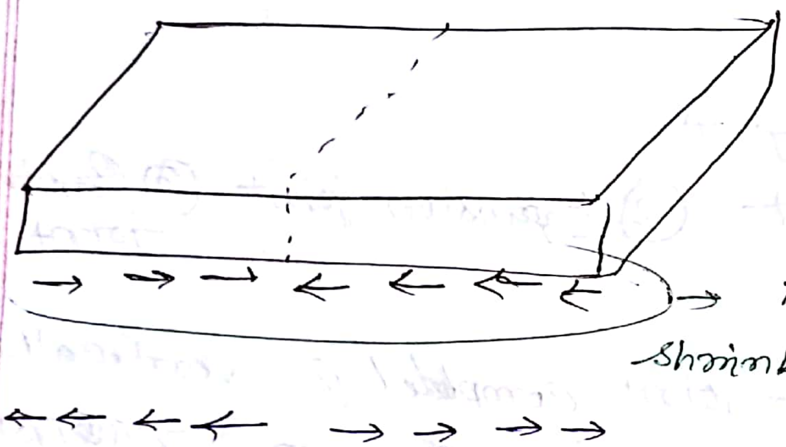
① Contraction joint ② Expansion joint ③ Construction joint

③ ⟹ Construction joint completely vertically seperation হয়ে থাকে, এটি হয় যেভাবে construction এর পর ~~কাজ~~ shuttering দেওয়া হয়, এই shuttering এর কারণে seperation হয়, আবার যদি দুই অংশের ওপর ~~করা যায়~~, কাজ করা হয়, মাঝে tie bar কে embedded করতে হয়।

① Contraction joint:

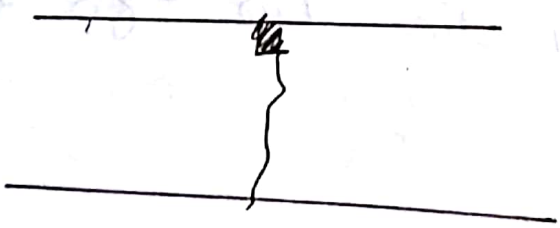
Pavement এর thickness হল 12". উপরের 4" তে একটি আড়াআড়ি saw cut করে

দিকে তখন ওই plain দুর্বল হয়ে যায়, ফলে সব crack ওই regular path এই - হবে, irregular path এ হবে না, উপরে থেকে দেখা যায় না, নীচে weather irregular crack করবে।



indicate করে
shrink হতে চাচ্ছে

friction force. soil structure interaction এর জন্য friction আসে,



Q. Contraction joint এ dowel bar mandatory না, Construction joint এ dowel bar mandatory কেন?

→ Contraction joint এ নীচে irregular crack থাকে। তাই দুই pannel এর মধ্যে কিছু আঁকাবাঁকা থেকে load কোয়ার হয়।

Construction joint থেকে এরকম কোন কিছু পাওয়া যায় না। উপর থেকে নীচে অবধি বরাবর seperation থাকে। Dowel bar load transfer করে।

** 29.11.2017 (extra class) এর lecture missing.

7.12.2017

Pavement Stress

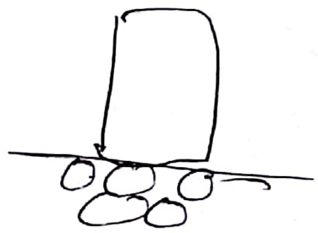
* Successive two layers.

■ Shear stress এর arching effect. উপরের layer ~~stiff~~ এ load আসলে উপরের layer এ সবচেয়ে বেশি। নীচে যেতে যেতে আস্তে আস্তে কমবে।

■ উপরের layer এ stiffness অনেক বেশি. So ~~*~~ উপরের layer এই mainly confined থাকবে stress. এজন্য bulging effect হয়
not sure.

** deflection pattern for thin layer. মাঝের point এ সবচেয়ে বেশি concentration. So সেই point এ deflection সবচেয়ে বেশি,

*



টায়ারের contact area থাকবে, contact area র granular material অনেক area তে transmit হয়,

* Compaction depth.  যত বেশি depth থাকে, concentration কমতে থাকে।

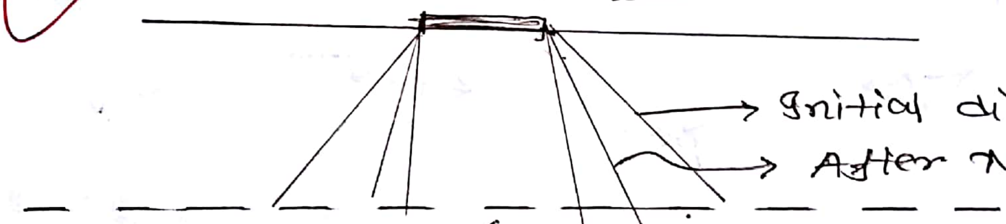
* যত বেশি pressure, তত নীচে দিকে propagate করবে stress.

* Combined effect এর জন্য অন্য বলে tandem excell. ব্যবহার বেশি করে।

Exam এ আসে

Ques. Draw with time distribution pattern কি হয়?

*



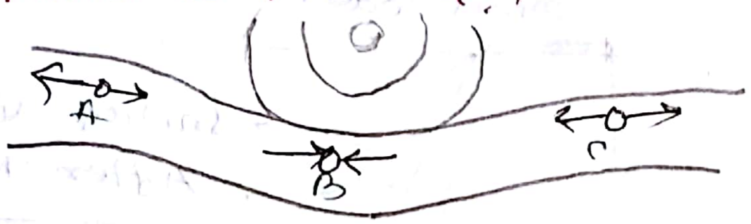
নতুন যখন বানানো হয়, তখন structure এ integrity বেশি, কোন fatigue নাই, ফলে wider area জুড়ে load distribute হয়। সময় গেলে integrity কমতে থাকে। ক্রমান্বয়ে contact area র নীচে নিতে থাকে, Group action হয় না, ফলে একসময় নীচের layer fail করে।

* edge loading এর জন্য tension develop করে crack করে। Remedy: Properly designed dowel bar.

* Corner loading এর remedy → thickness বাড়ানো।

** exam এ আসে।

Ques. কিভাবে আমাদের দেশের pavement গুলো premature fail হয়।



→ wheel load বেশি,

→ বেশি বৃষ্টি হয়, proper drainage নাই।

* যে point এ আছে, সেখানে compression হবে, সামনের & পেছনের point এ tension,

* tension মানে hair crack থাকবেই, suppose, C এখন tension এ তখন crack দিয়ে পানি ঢুকলো। চাকা ঠিক পরমুহূর্তেই

B থেকে C তে গেলে C তে compression হবে। তখন pore water pressure develop হলে পানি আবার ওই crack দিয়ে force নিয়ে বের হওয়ার try করে। এতে aggregate to aggregate এর bond ছেড়ে বের হয়ে আসে, যখন বারবার হতে থাকে, aggregate এর bond loose হয়ে যায়। ফলে তখন buyoncy effect feel করে। যদি running water থাকে। তখন buyoncy effect & running water এর জন্য aggregate wash out হয়ে যাবে। এতে pothole সৃষ্টি হয়। এভাবে রাস্তার premature নষ্ট হয়।

Remedy: water clogging হলে কোন ভারী যানবাহন চলতে পারবে না। Traffic control করতে হবে।

Perpetual Pavement

অবিনশ্বর

* আজকের lecture এর উপর next week এর পরের week এ.

* load আসলে সবচেয়ে বেশি strain হয় bottom এ। load আসলে strain হয়, load চলে গেলে shrink হয়। এটা হচ্ছে fatigue. হচ্ছে নীচে crack হয়, উপরে propagate হয়। হচ্ছে fatigue crack. HMA layer উপর হয়।

Considerations of perpetual movement:

* polymer modified binders : bitumen টা heat এ liquid হয় & cold এ brittle হয়, এই problem টা overcome করে।
  → bitumen এর সাথে tire কে infuse করে দিলে এমন overcome হয়।

* Standard Paver based ...

soil কে improve করা মানে (bearing capacity বাড়ানো)
~ load নেয়
~ settlement কম হয়।
↳ sand column দিয়ে হয়।

নীচের যে water থাকে, তা sand দিয়ে বের হয়ে আসে। ফলে settlement potential কমে।

~ uniform compaction হতে হবে। Differential settlement হতে পারে না।

* * ** Optimum moisture content এ soil এ maximum density পাওয়া যায়।

* Optimum moisture content আছে কিনা moisture gauge দিয়ে check করা হয়।

* Sprint intelligent compaction → এখানে machine চলার সময় কি ধরনের reaction পাচ্ছে, তার record রাখতে থাকে। ফলে যে যে জায়গায় full compaction হয় নাই, সেগুলো show করে।

—*** Perpetual pavement এর main philosophy হল full রাস্তাকে compression member বানাতে হবে। কোন tension থাকবে না। এজন্য edge confinement দিতে হবে & base confinement দিতে হবে।

+ temperature segregation হয় bitumen এ। Truck এর top এর গুলো ঠান্ডা হয়ে আসে। যেখানে ঠান্ডা অংশগুলো পড়ে, সেখানে pothole তৈরী হয় ultimately. ফলে এমন system করতে হবে batch plant থেকে এনে রাস্তায় pave করার আগে আবার mixing করা হয়।

13.01.2018

Pavement Distresses

Flexible pavement:

* Ways of distresses.

* Repeated load একই জায়গায় আসলে fatigue create হয়।

* bottom থেকে accumulate করে → bottom up যখন thin হয়।

* Thick pavement এ উপরেই হয় সাধারণ।

Description

— Smooth riding quality থাকে না

Possible Causes:

— Support condition ঠিক না হলে tension create হয়।

— Perpetual pavement এ no tension allowed.

— পানি capillary rise potential এর মাধ্যমে উপরে উঠে। — যত finer material, তত বেশি rise করে।

→ Water stripping করে ফেলে।

Repair

Small → patchwork
Large → overlay
[Full method না পড়লেও হবে / স্যার পড়ান নাই]

* Mix design এ 4% air void রাখতে হয়
↳ Summer time এ soft হয়।
↳ Load আসলে bitummin paste হয়ে pore pressure release করে,
↳ Air void এজন্য খুব দরকার
↳ Otherwise উপরে উঠে

→ একে বলে bleeding of pavement.

↓

ছোট scale এ হলে blotting paper use করা হয়,
Mass " " planner use হয়,

⊞ Block cracking :

→ Asphalt binder aged হয়ে গেলে।

→ ঠিকমতো choose করা না হলে।

* Overlay → তুলে ফেলে আবার বসাতে হবে।

⊞ Corrugation & shoving : ঢেউ এর মত হয়

→ Overload এর জন্য হয়।

→ যদি mix এ round aggregate অনেক বেশি হয়, তখন internal friction হতে পারে না। Flexible pavement এর জন্য এই friction and interlocking important. Summer time এ undulated হয়ে যায়।

⊞ Depression:

→ Specific location এ proper compaction না হলে।

→ Frost হলে তখন হয়।

☐ Joint Reflection cracking:

— Not due to weather or over load.

— নীচে concrete pavement ছিল, pavement এর panel এরকম ছিল,

— উপরে bitumen layer দেওয়া হয়েছে,

— নীচের concrete এ expansion and contraction হতে পারে in the joints. এটাই উপরে reflected হয়।

— Remedy: নীচের block গুলোর joint কে জোড়া দিয়ে দেয়া, Zipper এর মত। তখন propagate বন্ধ হবে।

☐ Longitudinal cracking:

→ Lane by lane construction করা হয়, joint part ভালো মতো blend করে integrated না করা গেলে problem হয়,

[স্যার কিছু skip করেছেন এর পর]

Polished :

— Skid resistance কমে যায়।

Potholes: (Important for our country)

— Crack হয়।

Ravelling:

— Continuous loss of aggregate.

— Aggregate segregation এর জন্য হয়ে থাকে।

— Aggregate এর সাথে paving এর সময় dust ছিল। So asphalt layer actually coat করেছে dust কে।

Rutting:

— Channelized traffic over loaded হলে হয় generally.

— Western country গুলোতে traffic systematic ভাবে চলে, সেখানে হয় বেশি।

Slippage crack

— পুরনো layer & নতুন layer এর কোনো integrated bond হয় নি।

— Overloaded vehicle হঠাৎ করে breaks করলে high shear create হয়।

— Bus stop, speed breaker এর আগে দেখি।

— Crescent shape tear up.

Stripping:

— Local canal etc থেকে পানি vertically upward move করতে থাকে, ফলে stripping হতে থাকে

— কেনো হয় — কারণ aggregate এ ferrous থাকায় ঐ পানির উপস্থিতিতে ferric হয়ে থাকে। তারপর যায়।

* Water ~~blee~~ bleeding

Repair techniques:

Fog seal : → emulsion
→ masking create করে।

Slurry seal :

Micro seal:
— polymer modified binder
— Maintenance যেহীতে ব্যবহৃত হয়।

Crack sealing:

☐ Patch work steps:
(দেখে নিব)

→ Patch work always regular/ rectangular shape এ করতে হবে।

→ Compaction করিতে হবে।

⊞ Rigid Pavement distress :

⊞ Blow up (সবচেয়ে important)

→ length বেড়ে গেছে।

→ Suppose, joint এ পাথর পড়ে আছে, expand হতে পারবে না।

→ Lower miniscus এ দিক seal. যেন চাকার ভিতরে না নিয়ে যায়।

⊞ Corner ~~failure~~ Break :

— Corner এ D-crack হয় (??)

⊞ faulting :

পাশাপাশি দুটি panel এর মধ্যে edge উঁচু নীচু থাকে,

— Approach এর edge উঁচুতে, exit এর নীচে থাকে,

Dowel bar—

Dowel bar rusting & expansion এর জন্য হয়ে থাকে।

Spalling:

→ সামান্য অংশ উঠে আসে

→ summer time এ হয়।

→ edge এর internal stress এর জন্য।

Pumping:

→ Dowel বার না থাকলে।

Punchout:

→ Most unlikely

→ Local failure.

Ques ⊛ pothole এর common reason? Treatment.

⊛ blow up

⊛ What are the common distress in design of pavement.

17.01.2018

Geometric design of Highway

* transportation এর design হল semi-empemical design.

* Loop এর বৈশিষ্ট্য known. তারপর এর উপর 6 বছর ধরে গাড়ি চালায় যেখন যতটুকু নষ্ট হয়।

* known → soil
  → loading condition
  → Length

Ques Write down the major findings of AASHO road test.

** Equivalent single axle load ⇒ ESAL
  ↳ 18 KN

* Present Serviceability Index (PSI) → 0 to 5

* Terminal " "

* Structural number concept
  ↳ air layer এর structural number হবে 1 ধরে বাকীগুলো তার সাথে compare করা হয়। Thick

* Value of sub base

↳ [illegible] multiplier দিয়ে হয়।

— Rigid pavement:

* Value of sub base for pumping
* Dowels.

Limitations of the AASHTO road test findings:

Pavement design Guide for roads and highways department

* নীচের layer এর CBR জানলে, উপরের layer এর thickness জানা যাবে।
* Minimum CBR বলে দেওয়া আছে।
* Natural soil এর CBR < 8 হলে ground improvement করতে হবে।

* Nomograph:

* Base type 2 আর ৪ হলে, তখন thickness বেশি দিতে হবে।

* Subgrade CBR < 5% হলে,

  Suppose 2% → additional একটি improved layer দিতে হবে 450 mm এর।

  To be checked → 2% | → ...

* truck কে replace করবো ওজন দিয়ে

Compound rate এ বাড়ে →

~~Base~~ - - - - . . .

Problem: Appendix 2 : Example of pavement design

* CBR subgrade 3% ∴ adational ~~~~ layer দিতে হবে 300 mm.

* ESA factor জানি, (Step by step বুঝাতে পারি নাই :))

Exam Ques ~~Intro~~ Inherent weakness of road infrastructure development of Bangladesh?

— বাংলাদেশ riverine country.

— Floodplain.

— Consolidated করে দিতে হয়।

— Huge embankment দিতে হয়।

— Cross drainage structure (bridge/ culvert) etc দিতে হয়।

— Flood এর কারণে damage হয়। এজন্য ~~~~ maintenance cost অনেক বেশি,

— Long Lasting infrastructure বানানো যায় না।

— আমাদের দেশে তেমন rocky mountain নাই।

যখন যেমন good quality construction material পাওয়া অনেক costly. তেমন আমাদের এ শুধু কিছু পাওয়া যায়।

→ exam এ Ques এ আসবে।

— Overloading problem অনেক বেশি আমাদের দেশে।

Catalogue method :

T → Traffic load

S → Soil load

* Corresponding cost ও জানি।

T_1, T_2 --> Index দেয়া আছে

S_1, S_2 → (definition দেয়া আছে)

* 14 আসলে T4 এ যাবো।

* প্রথমে geometric design করতে হবে।
  ↳ PCU তে নিতে হবে।

* design হবে design year জন্য।

Ques: Weight এর জন্য Compound rate & volume ~~weight~~ এর জন্য simple interest rate কেন?

→ Weight: প্রথম বছর যে ছিল, তা দ্বিতীয় বছর আবার ~~inter~~ repeat করবে।

(মনে নাই !! (:)))

→ Volume:
  – একসাথে কোথায় কত? simple IR নিয়েছে

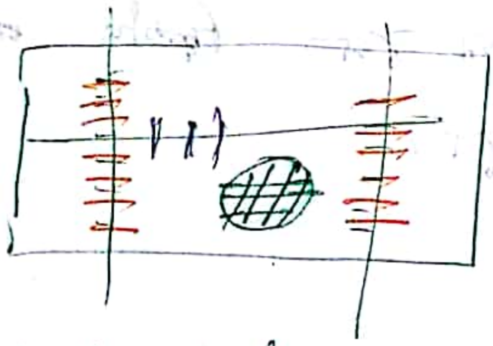
* non motorised vehicle এর জন্য তারা wrong side এ চলে যাবে।

* Table 3 এর জন্য road width লাগে। এ কারণে geometric design করতে হবে।
  ↳ interpolate করতে হবে।

→ catalogue থেকে use করবে thickness.

* Flexible pavement এ thickness বেশ বাড়লেই হবে,
* Rigid " " " + re-bar.

temperature (both direction)



* both end fixe.
?? * Length হলে long direction এ → আছে,
* Short হলে চাইলে friction আছে।

* tie bar এ bonding হচ্ছে হয়।

* steel bar design

↳ দুই ধরনের joint:

① Construction joint [100% seperated]

② Contraction " [saw cut করা হয়]

↓

pannel not 100% sepera

→ dowel বার দিলে spacing বেশি হবে। কারণ ফাঁকটা aggregate দিবে।

saw cut এ dowel bar না দিলেও চলে।

100% seperated হলে dowel বার ঘন ঘন দিতে হয়। বড় বার।

Tie bars along longitudinal construction joints.

<u>Length</u> 27.11 in or 2ft ~~c/c~~

*exam এ আসবে → design করবে & draw reiforcement & joint details.

→ ছবিটা আঁকতে হবে,

এরপরের class করি নাই!! (:̈)

→ That mighty transport lab reports + viva!!! (-_-)

Lecture 9

Shamsul Sir
20.07.2018

□ AASHTO Flexible Pavement structural design

eq^n এর মধ্যে L.H.S এ equivalent axle load

R.H.S এ SN → multilayer structure কে বোঝায়

→ exam এ eq^n দিবে দিবে. common term/ no. এ convert করা হয়,

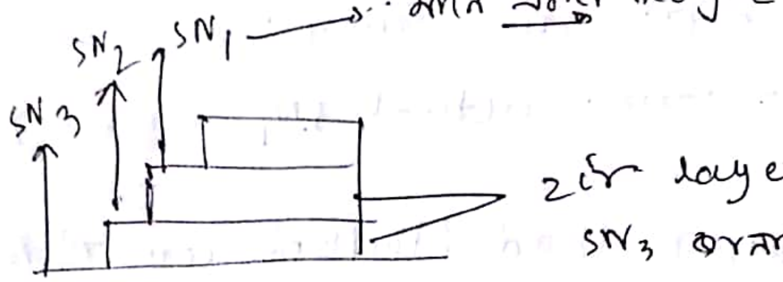
terminal serviceability, pt → যে লেভেলে damage হলে পরে maintainance লাগে

ΔPSI → কতটুকু difference হলে maintainance করতে হবে।

MR → pavement এর modulus of resiliance

SN is directly related to thickness of pavement.

□ Layer concept:



২য় layer এর MR ধরলে SN_2 & SN_3 ধরা হয়। ২টির SN এর difference হবে thickness.

Σ layer co-efficient × depth = SN

Example 1

শুধু truck এর জন্য design করবো।

Math শুরু করার নিয়ে | Axle 0—U | axle load থেকে equivalency factor বের।

Trial & error method.

→ exam এ sir এবার trial & 2nd trial এর জন্য comment করবে যে SN বাড়াতে হবে না কমাতে হবে।

Example : thickness calculation

exam এ sir worksheet দিয়ে দিবে।

thickness → nearest 0.5" তে upper rounding করলে যাতে overdesign না হয় or recheck করে SN₁ বের করতে হবে। তারপর অন্যান্য layer এ calculation করে actual SN₁ পাওয়া।

PCA thickness design method (Portland cement Association)

pavement is damaged — fatigue (বার বার যানবাহন যাওয়া)

→ erosion — মাটি সরে গিয়ে পানি জমে, pumping হয়, cracking হয়।

subgrade reaction → 1 in deflection এর জন্য কত lb load লাগবে or কত psi লাগবে।

concrete এ, subgrade এর উপর না দিয়ে subbase এর উপর স্থাপন হবে।

subbase thickness যত বেশি হবে support তত strong হবে।

→ problem এ দেওয়া হবে subbase untreated নাকি cement treated.

→ সবসময় design করতে হয় fatigue load এর জন্য।

Miner's eqn

* যে কোনো একটি load যতবার repeat করলে road কে damage করবে তা N আর actually design life এ যত বার repetition হবে তা n.

$$D = \Sigma \frac{n_i}{N_i}$$

Stress ratio → concrete parameter

যদি

curve এ repetition line কে cross করে। অনেক উপরে থাকে তবে unlimited no. of repetition লাগবে।

exam এ different axle এর % দেওয়া থাকবে। সেগুলোর corresponding no. of repetition বের করতে হবে।

Load safety factor → load দিয়ে static condition এ but vehicle থাকে dynamic state এ। থাকে vibration হয় & impact থাকে। তাই factor দিয়ে multiply করতে হয়।

Stress ratio → $\frac{\text{Equivalent stress}}{\text{MR}}$

1993 AASHTO Flexible Pavement Structural Design

Empirical equations are used to relate observed or measurable phenomena (pavement characteristi outcomes (pavement performance). This article presents the 1993 AASHTO *Guide* basic design equation fo pavements. This empirical equation is widely used and has the following form:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R)$$

where: W_{18} = predicted number of 80 kN (18,000 lb) ESALs

Z_R = standard normal deviate

S_o = combined standard error of the traffic prediction and performance prediction

SN = Structural Number (an index that is indicative of the total pavement thickness required)

= $a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 + \ldots$ $a_i = i^{th}$ layer coefficient $D_i = i^{th}$ layer thickness (inches) $m_i = i^{th}$ layer drainage coefficient

ΔPSI = difference between the initial design serviceability index, p_o, and the design terminal serviceability index, p_t

M_R = subgrade resilient modulus (in psi)

The design Nomo-graph appended at the end of this section is also solve the equation for

- the structural number (SN) for flexible pavements
- the thickness (D) of the pavement slab for rigid pavements

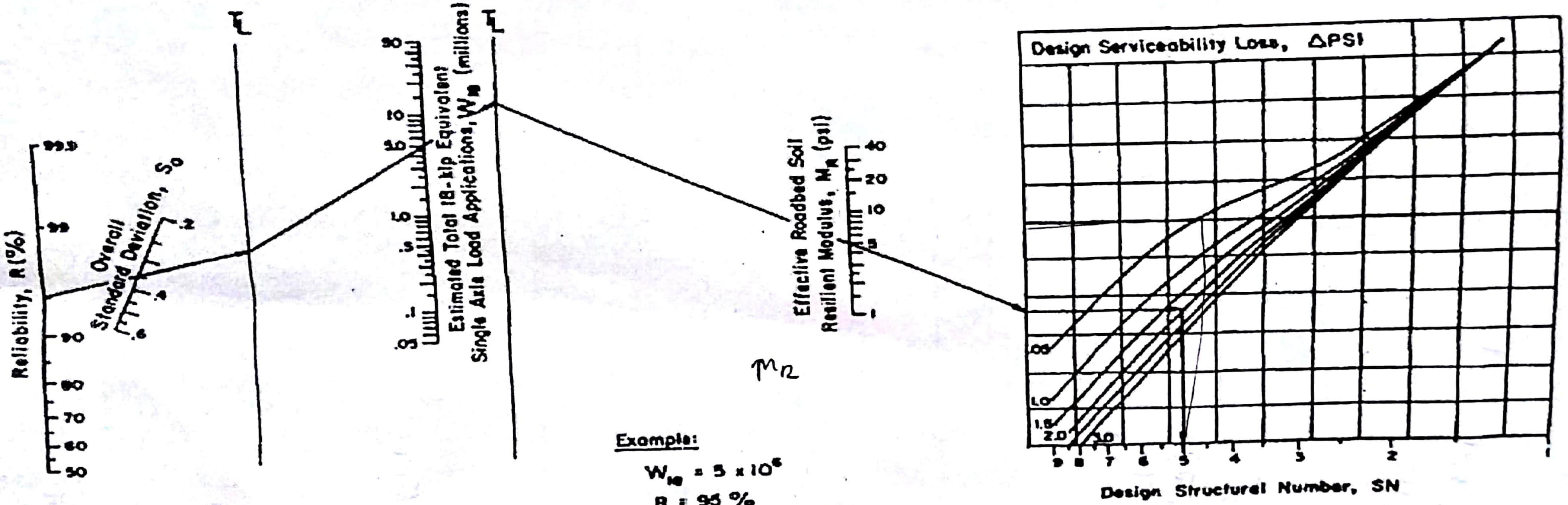
Assumptions

From the AASHO Road Test, equations were developed which related loss in serviceability, traffic, and p thickness. Because they were developed for the specific conditions of the AASHO Road Test, these equatio some significant limitations:

- The equations were developed based on the specific pavement materials and roadbed soil prese AASHO Road Test.
- The equations were developed based on the environment at the AASHO Road Test only.
- The equations are based on an accelerated two-year testing period rather than a longer, more typ year pavement life. Therefore, environmental factors were difficult if not impossible to extrapolate longer period.

NOMOGRAPH SOLVES:

$$\log_{10}W_{18} = Z_R{*}S_o + 9.36{*}\log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32{*}\log_{10}M_R - 8.07$$



Example:

W_{18} = 5 x 10^6

R = 95 %

S_o = 0.35

M_R = 5000 psi

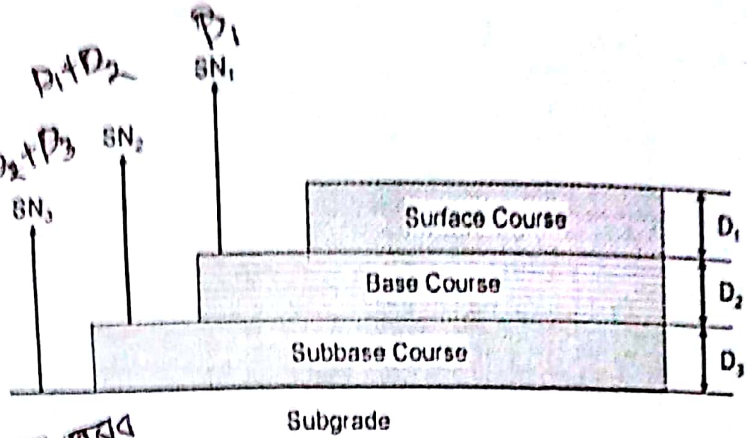
ΔPSI = 1.9

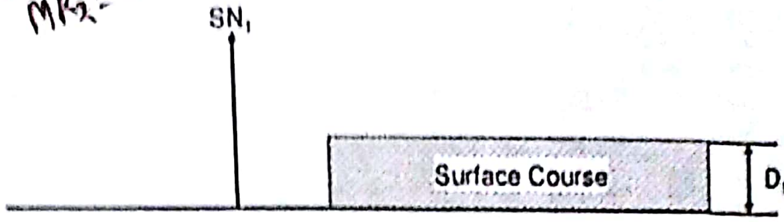
Solution: SN = 5.0

thickness 8' ... are,

FIGURE AASHTO design chart for flexible pavements based on using mean values for each input. (Courtesy American Association of Highway and Transportation Officials.)

Layer Concept of Structural Design

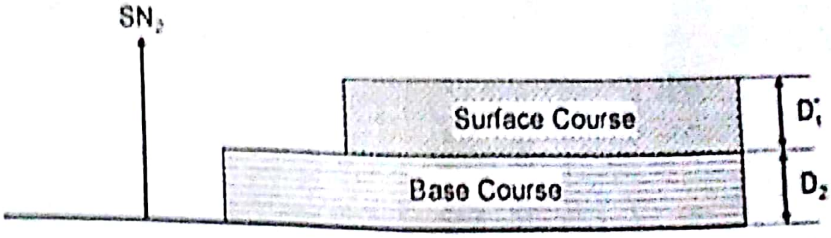




Base Course = Subgrade

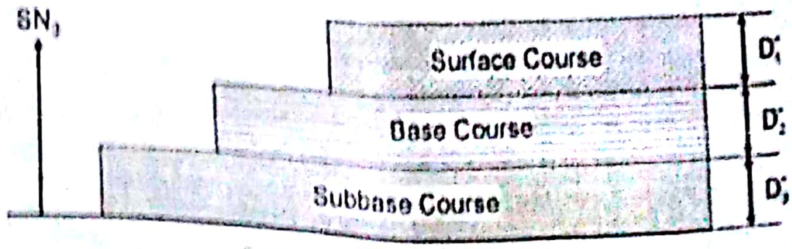
$$a_1 D_1^* \geq SN_1 \quad \Rightarrow \quad D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

* Denotes actual value used, which is rounded to the nearest ½ inch in thickness



Subbase Course = Subgrade

$$a_1 D_1^* + a_2 D_2^* \geq SN_2 \quad \Rightarrow \quad D_2^* \geq \frac{SN_2 - a_1 D_1^*}{a_2}$$



Subgrade = Subgrade

$$a_1 D_1^* + a_2 D_2^* + a_3 D_3^* \geq SN_3 \quad \Rightarrow \quad D_3^* \geq \frac{SN_3 - a_1 D_1^* - a_2 D_2^*}{a_3}$$

Design Example – Part 1

Worksheet for Calculating Design 18-kip ESAL

Example 1

Determine ESAL for the following axle load distribution survey data:

Highway type	=	4-lane rural highway
Design year	=	20 yr
Uniform growth rate	=	5.5 %
Total no. of trucks weighed	=	1000 (one day & both directions)

Assume:

Terminal Serviceability, Pt	=	2.5
Structural Number, SN	=	6.0

Solution

Axle Load Groups (kip)	Number of Axles, N	Equivalency Factor*, F	ESAL N x F
Single Axles			
0 - 3	0	0.0002	0.00
3 - 7	8	0.0055	0.04
7 - 8	400	0.0255	10.20
8 - 12	1200	0.0800	96.00
12 - 15	425	0.3003	127.61
26 - 30	375	5.9800	2242.50
Tandem Axle			
0 - 6	0	0.0010	0.00
6 - 12	23	0.0045	0.10
12 - 18	167	0.0335	5.59
18 - 24	400	0.1380	55.20
24 - 30	287	0.4110	117.96
30 - 32	450	0.7335	330.08
32 - 34	460	0.9570	440.22
34 - 36	453	1.2300	557.19
18-kip EAL's for all trucks weighed =			3982.69

Per day total ESAL = 3983 no.

Directional distribution = 0.5 (As AADT is counted for both directions)

Lane distributions = 0.9 (From Table 1)

Base year ESAL = 365 x 3982.69 x 0.5 x 0.9 = 654157

Design ESAL = [(1 + 0.06)^20 - 1]/0.06] x 654157 = 24063552

From Homograph, SN for design ESAL= 5.71 ; which is equal to the assumed value and as such no further trial is needed

Note: *From interpolation of Table 1 & Table 2.

Worksheet for Calculating Design 18-kip ESAL

Example

Highway type	= 4-lane rural highway	Assumed SN or D =	5
Design year	= 20	Pt =	2.5
Average Daily Traffic =	10,034 (both direction)		

Vehicle Types	Current AADT (A)	Growth Factors (B)	Forcasted Traffic (C)	ESAL Factor* (D)	Forcasted ESAL (E)
		2%			
Passenger cars	5,925	24.30	52,546,099	0.0008	42,157
		2%			
Small Buses	235	24.30	2,084,107	0.0081	16,798
Large Buses	450	24.30		0.6806	
		4%			
Pickup trucks	1,135	29.78	12,336,314	0.0122	150,503
2-axle/6-tire trucks	375	29.78	4,075,875	0.6560	2,673,774
3 or more axle trucks	34	29.78	369,546	0.8646	319,509
		1%			
5 or more axle trailers	1,880	29.78	20,433,718	2.3719	48,466,735
All vehicles	10,034				51,669,355

Directional Distribution = 0.5 (As AADT is counted for both directions)

Lane distributions = 0.9 (From Table 1)

Therefore, design ESAL = 51669355 x 0.5 x 0.9 = 23,251,210

Form Figure 3.1 SN for design ESAL or W_{18} = 5.71 ; which is equal to the assumed value and as such no further trial is needed.

Notes:

A = base year annual average daily traffic in both direction; obtained from vehicle counting stations representative of the design locat

B = growth factor for each type of vehicle; assuming annual compounded rate of growth factor = $[(1+g)^{t}-1]/g$, where g = % growth,

C = A x B x 365

D = equivalent single axle factors for assumed SN/D & Pt

obtained either directly from relevant agencies or calculated based on axle load distribution data from weigh stations

may be supplied in the form of load factor for *each vehicle classes*

(say for 1000 cars it is found that car has an average ESAL of .8 then load factor for each car would be 0.0008)

if axle load distribution for all vehicles is available from weigh stations; then it is possible to calculate ESAL factors for ***each a***

In this example equivalence factors for each vehicle classes are derived from limited weight studies

E = C x D

Design Example – Part 2

Design of Flexible Pavement using AASHTO Method

Example 1

Design for the following data:

Trafic Data: Same as ESAL example

Estimated Design ESAL, W_{18} =	23.3 milion (from ESAL example)
Overall Growth Factor, g =	6.0

Soil Characteristics:

Soil type is highly active swelling clay

Drainage system need to be provided to cope with the excess moisture

Swell probability, P_s =	60 (% of total area subject to swell)
Swell Rate Constant, C =	0.1
Verical Rise of Roadbed Soil, V_i =	2.0

Pavement Data:

Initial Servicability, P_o =	4.6
Terminal Servicability, P_t =	2.5
Loss of serviceability, LPSI = P_o - P_t =	2.1

Design Strategy:

Consider two-stage construction (i.e. planned rehabilitation).

Design Period =	20 years
Initial service life of the pavement =	15 years

Statistical Data:

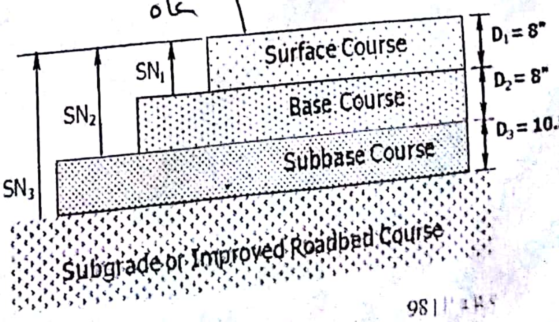
Reliability for each stage, R =	0.95 (or $0.9^{1/2}$)
Assuming overall std. dev., S_o =	0.35
Z_R =	-1.645

Worksheet For Flexible Pavement Design

Pavement Layer	Material Used	Resilient Modulus[1] M_R (psi)		Calculations For Layer Coefficients		Drainage Coefficient[2]		Required SN above the layer[3]		Calculations For Layer Thicknessed			Thickness D* (inch)
Surface Course	Asphalt Concrete	E_{AC} =	400,000	a_1 = 0.169*LN(E_{AC}) - 1.764 =	0.42	m_1 =	1.0	-	-	D_1^* = $SN_1/(a_1m_1)$ =	3.31/0.42	= 7.88	8.0
										SN_1^* = $a_1D_1^*$ =	0.42 x 8	= 3.36	
Base Course	Granular	E_{BS} =	30,000	a_2 = 0.249*LOG10(E_{BS}) - 0.977 =	0.14	m_2 =	1.2	SN_1 =	3.31	D_2^* = $(SN_2 - SN_1^*)/(a_2m_2)$ =	(4.65 - 3.36)/(0.14 x 1.2)	= 7.68	8.0
										SN_2^* = $a_2m_2D_2^*$ =	0.14 x 1.2 x 8	= 1.34	
Subbase Course	Granular	E_{SB} =	11,000	a_3 = 0.227*LOG10(E_{SB}) - 0.839 =	0.08	m_3 =	1.2	SN_2 =	4.65	D_3^* = $(SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*))/(a_3m_3)$ =	[5.71-(3.36+1.344)]/(0.08 x 1.2)	= 10.48	10.5
								SN_3 =	5.71				
Subbase Course	Compacted soil	E_{RB} =	5,700										

Check for SN3 = a1m1D1 + a2m2D2 + a3m3D3 = 8*0.42*1+8*0.14*1.2+10.5*0.08*1.2 = 5.71

Check If assumed SN in ESAL calculation is equal to SN3 or not.



[1] Based on laboratory experiments

[2] Based on Figure 3.1 - Design Chart For Flexible Pavement or solving the equation as follows:

Apply Trial & Error		RHS	LHS $\log_{10}W_{18}$
SN_1	3.31	7.365864	7.366446
SN_2	4.65	7.366106	7.366446
SN_3	5.71	7.366660	7.366446

[4] Thicknesses are rounded and checked for minimum requirements (SEE Table)

[illegible] Number (SN)					
1	2	3	4	5	6
9.9994	9.9999	0.0003	0.0002	0.0002	[illegible]
9.993	9.994	0.004	0.003	0.002	0.00[illegible]
9.944	9.947	0.017	0.013	0.01	0.00[illegible]
9.987	9.947	0.054	0.041	0.034	0.03[illegible]
9.979	9.152	0.149	0.152	0.098	[illegible]
9.160	9.198	0.229	0.213	0.189	0.1[illegible]
9.329	9.358	0.389	0.389	0.38	0.3[illegible]
9.591	9.613	0.658	0.645	0.829	0.[illegible]
1	1	1	1	1	1
1.61	1.57	1.49	1.41	1.51	1.5[illegible]
2.48	2.39	2.17	2.09	2.13	2[illegible]
3.59	3.49	3.09	2.89	3.03	3.2[illegible]
5.33	4.99	4.31	3.91	4.09	4.[illegible]
7.49	6.99	5.9	5.21	5.39	5.9[illegible]
10.9	9.9	7.9	6.8	7	7.[illegible]
13.9	12.8	10.9	8.8	8.9	10
18.4	16.9	13.7	11.3	11.2	12.[illegible]
24	22	17.7	14.4	13.9	15.5
30.9	28.3	22.6	18.1	17.2	1[illegible]
39.9	35.9	28.5	22.5	21.1	2[illegible]
49.9	45	35.9	27.8	25.6	27.7
61.9	55.9	44	34	31	33.1
75.9	68.3	54	41.4	37.2	39.3
92.2	83.9	65.1	50.1	44.5	46.5
112	102	[illegible]	[illegible]	[illegible]	55

...ry of PCA Design Method

- Two failure modes considered:
  - Fatigue failure due to slab flexure
  - Erosion failure due to foundation compression
- Edge loads produce the worst stresses - Fatigue based on tensile stress due to edge loads
- Corner loads produce the worst deflections - Erosion based on deflections due to corner loads

Parameters
- Concrete modulus of rupture (MR)
- Modulus of subgrade reaction (k)
- Design traffic volume
- Axle load spectrum

Modulus of Subgrade Reaction

Design k Values for Untreated Subbases

Subgrade k value, pci	Subbase k value, pci			
	4 in.	6 in.	9 in.	12 in.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Design k Values for Cement-Treated Subbases

Subgrade k value, pci	Subbase k value, pci			
	4 in.	6 in.	8 in.	10 in.
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	—

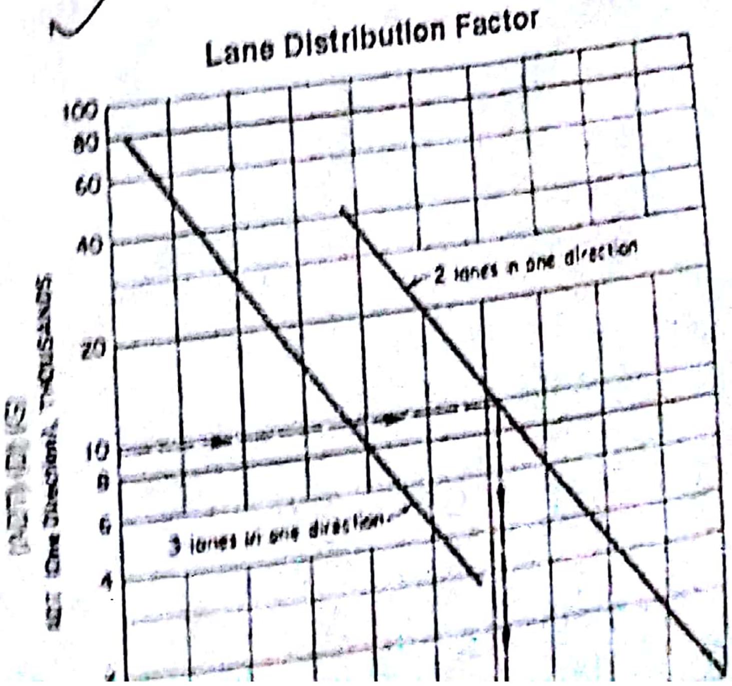
...sign Traffic Volume

...= 365 (ADT) (T) (D) (L) (G) (Y)

...ere ADT = Average Daily Traffic (two-way)
T = Percent Trucks
D = Direction Distribution Factor
L = Lane Distribution Factor
G = Traffic Growth Multiplier
Y = Design Life (Years)

...affic Growth Multiplier
...(1+r)... Where, r = Annual Growth Rate

Lane Distribution Factor



PCA Method Design Details

…d on Miner's Hypothesis: $D = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1$

…pavement life consumed by axle loads
…actual number of axle loads in class i
…axle loads needed to produce failure

…ign Procedure

1. Choose a trial slab thickness (h).
2. For each axle load class:
   a) Determine Ni for fatigue failure.
   b) Divide ni by Ni to determine fatigue damage factor di.
   c) Determine Ni for erosion failure.
   d) Divide ni by Ni to determine erosion damage factor di.
3. Sum fatigue and erosion damage factors over all of the axle load classes.
4. If both sums are less than 1 (life) your design is good; otherwise you need to increase your slab thickness.

…ample 1

…etermine the design traffic volume for a four-lane rural highway having the following conditions:

ADT	=	12,900 (two-way)
T	=	19%
r	=	4%
D	=	0.5 (assumed)
Y	=	20 years

…lay subgrade k = 100 psi/in
…oncrete MR = 650 psi
…se subbase = 4" untreated
…se Doweled JPCP & Asphalt Shoulders

…olution

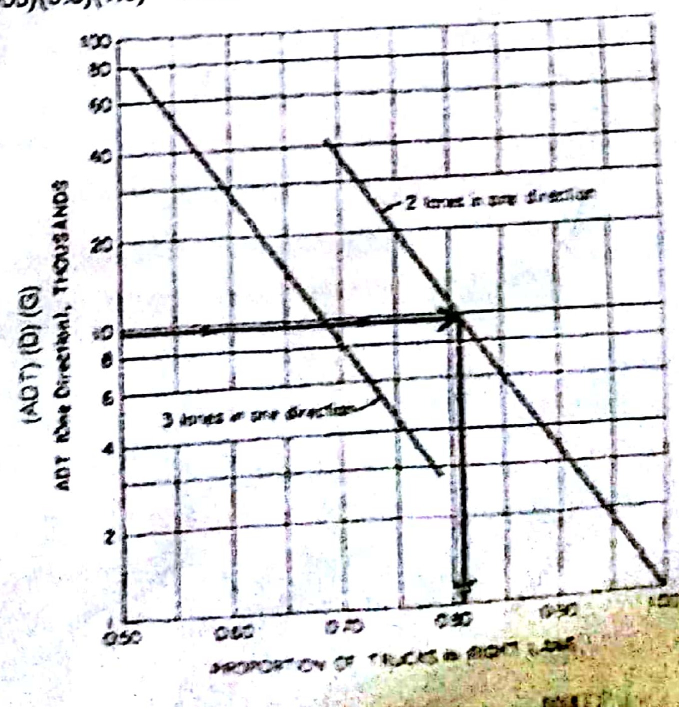
…esign Traffic Volume = $V = 365(ADT)(T)(D)(L)(G)(Y)$

…raffic Growth Multiplier = $G = (1 + r)^{Y/2} = (1.04)^{10} = 1.5$

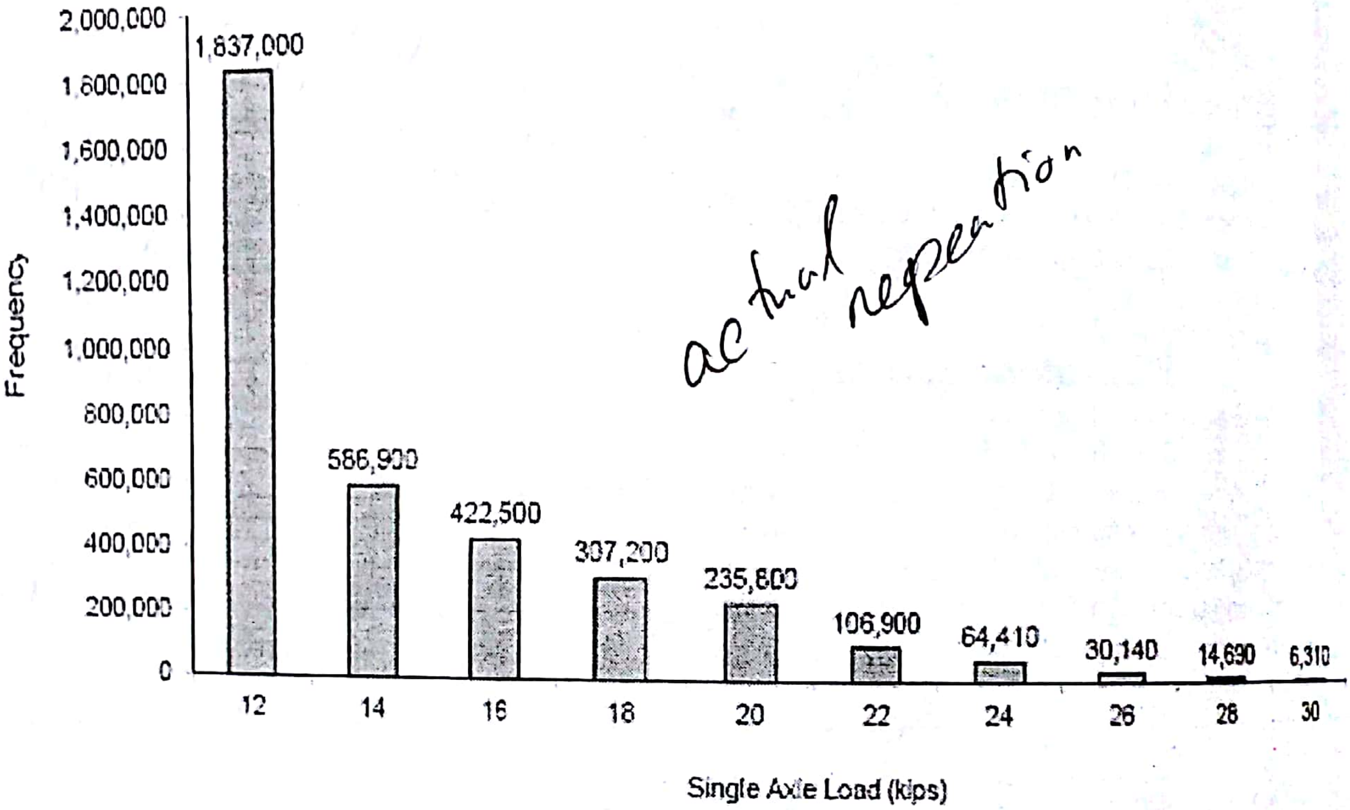
…ane Distribution Factor; (ADT)(D)(G) = (12,900)(0.5)(1.5) = 9675

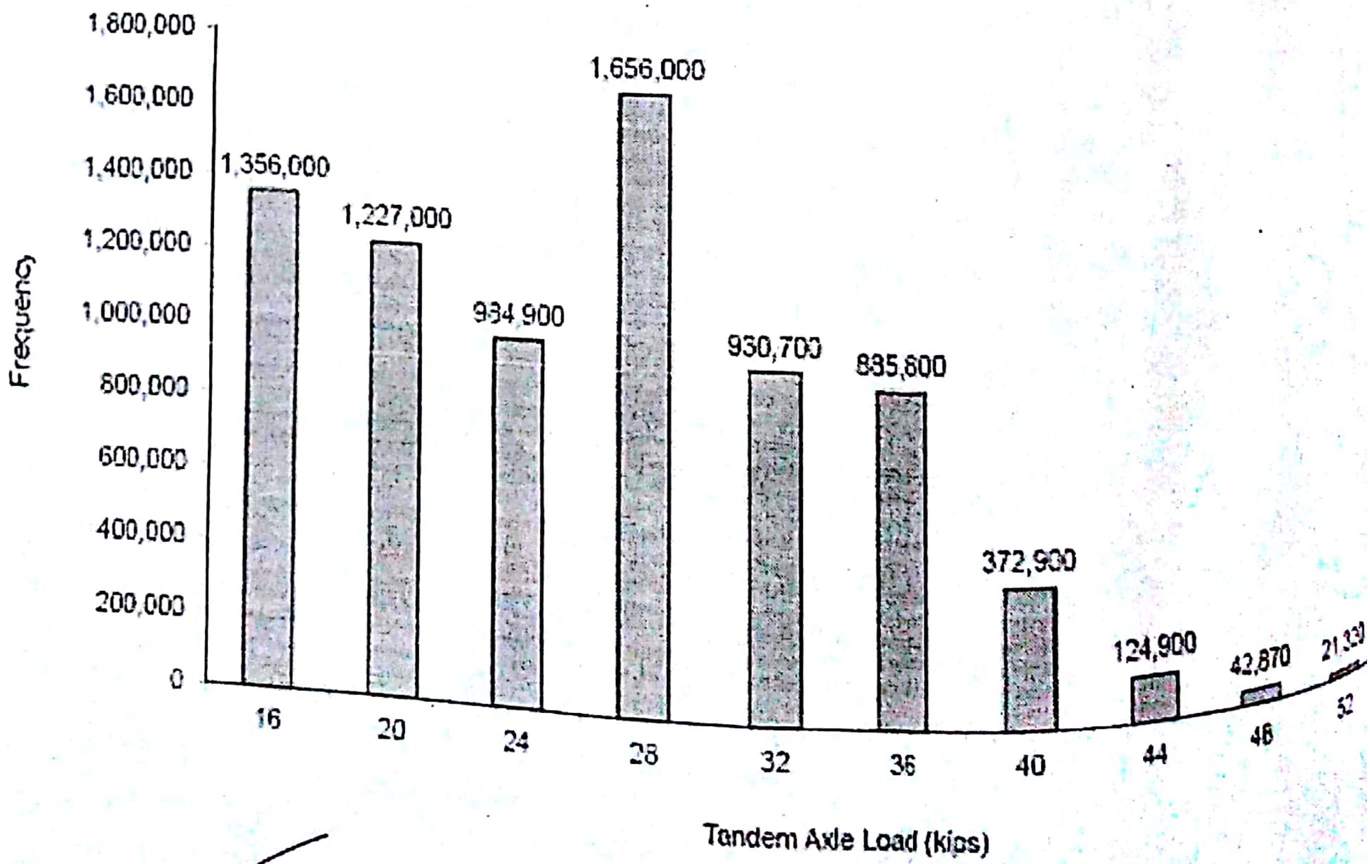
Therefore, Design Truck Traffic Volume
V = 365 (12,900) (0.19) (0.5) (0.81) (1.5) (20)
=10,880,000 trucks;

V = 365(ADT)(T)(D)(L)(G)(Y) (12,900; 0.19; 0.5; 0.81; 1.5; 20)



Axle Load Spectrum

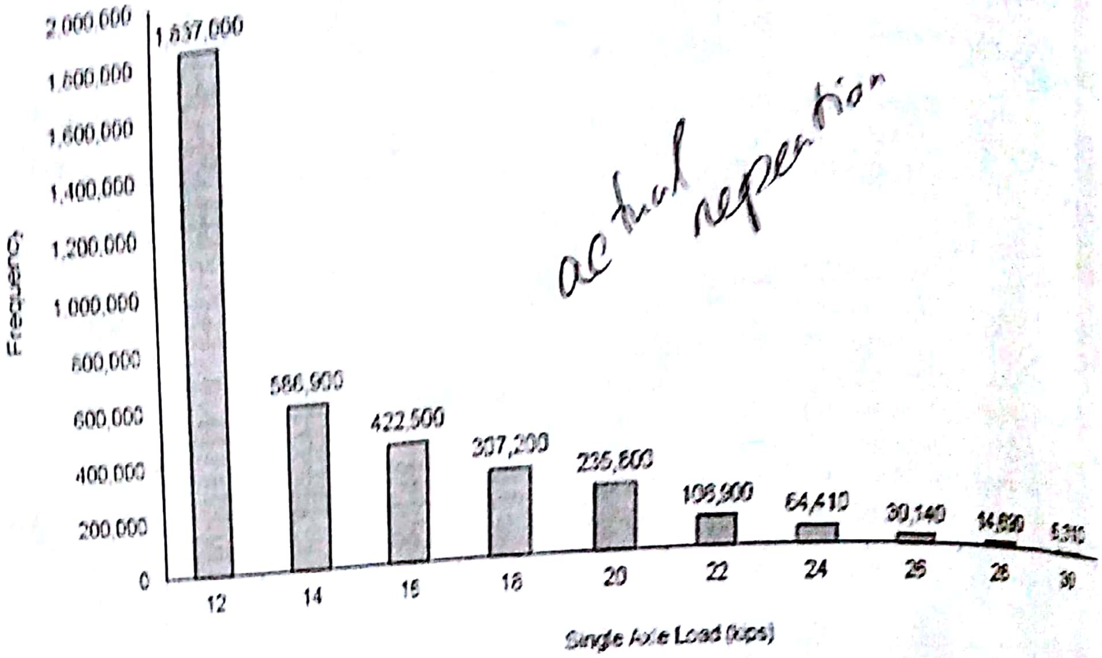


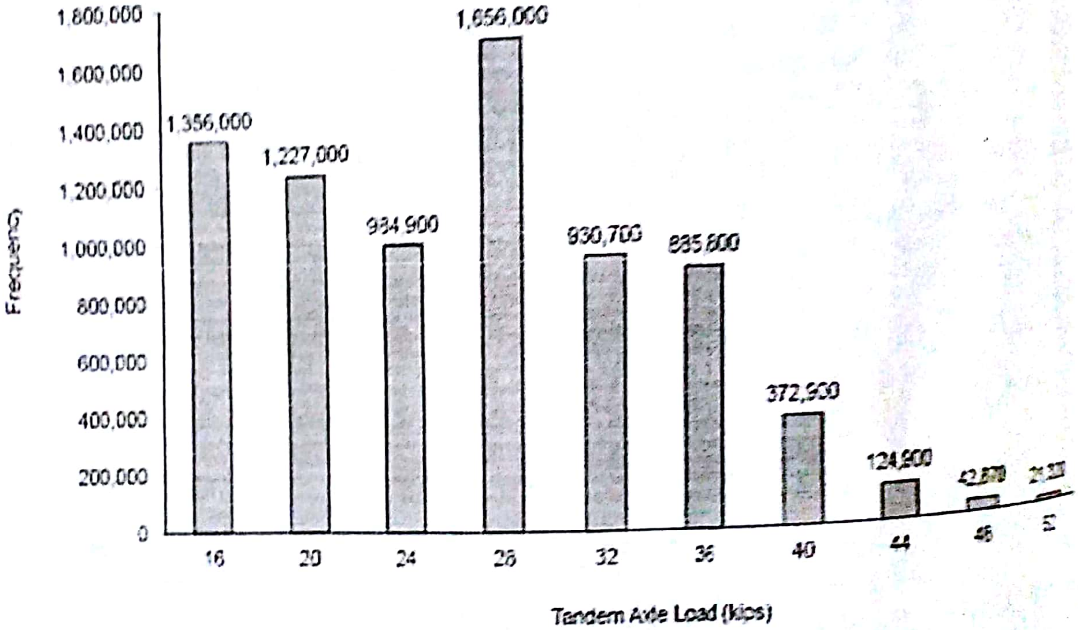


Load Safety Factor (Multiplication factor for axle loads)

Traffic Volume	LSF
High (Interst...	

Axle Load Spectrum





Load Safety Factor (Multiplication factor for axle loads)

Traffic Volume	LSF
High (interstates, multilane highways)	1.2
Moderate (highways and arterials)	1.1
Low (collectors, residential streets)	1.0

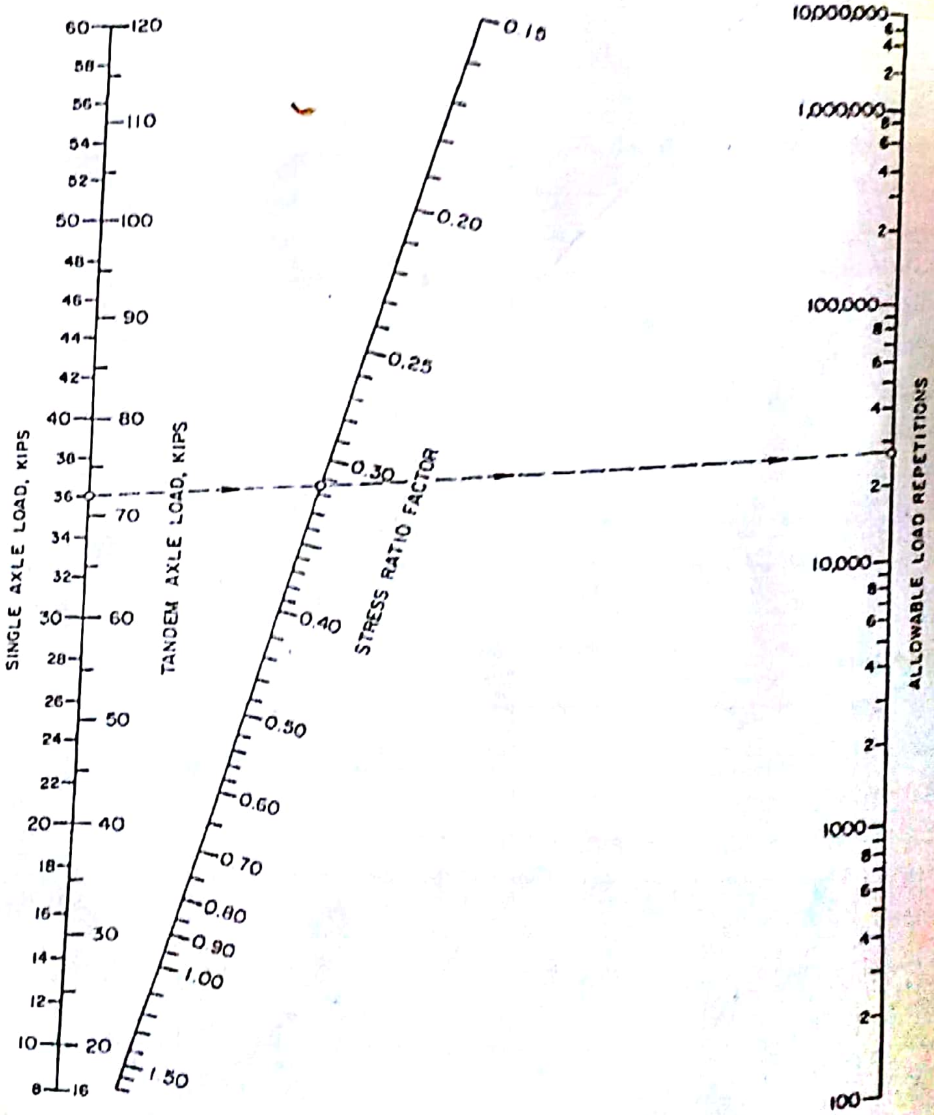
Concrete Problem as asphalt shoulder equivalent stress

Equivalent Stress – No Concrete Shoulder (Single Axle / Tandem Axle)

Slab thickness, in	k of subgrade-subbase, pci 50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4.5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5.5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6.5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7.5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8.5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9.5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10.5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11.5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12.5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13.5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

Equivalent Stress – Concrete Shoulder (Single Axle / Tandem Axle)

Slab thickness, in	k of subgrade-subbase, pci 50	100	150	200	300	[illegible]	[illegible]
4	640/534	559/468	517/439	489/422	452/403	[illegible]	[illegible]
4.5	547/461	479/400	444/372	421/356	390/338	[illegible]	[illegible]
5	475/404	417/349	387/323	367/308	341/290	[illegible]	[illegible]
5.5	418/360	368/309	342/285	324/271	302/254	[illegible]	[illegible]
6	372/325	327/277	304/255	289/241	270/225	[illegible]	[illegible]
6.5	334/295	294/251	274/230	260/218	243/203	[illegible]	[illegible]
7	302/270	266/230	248/210	236/198	220/184	[illegible]	[illegible]
7.5	275/250	243/211	226/193	215/182	201/168	[illegible]	[illegible]
8	252/232	222/196	207/179	197/168	185/155	[illegible]	[illegible]
8.5	232/216	205/182	191/166	182/156	170/144	[illegible]	[illegible]
9	215/202	190/171	177/155	169/146	158/134	[illegible]	[illegible]
9.5	200/190	176/160	164/146	157/137	147/126	[illegible]	[illegible]
10	186/179	164/151	153/137	146/129	137/118	[illegible]	[illegible]
10.5	174/170	154/143	144/130	137/121	128/111	[illegible]	[illegible]
11	164/161	144/135	135/123	129/115	120/105	[illegible]	[illegible]
11.5	154/153	136/128	127/117	121/109	113/100	[illegible]	[illegible]
12	146/146	128/122	120/111	114/104	107/95	[illegible]	[illegible]
12.5	137/139	121/117	113/106	108/99	101/91	[illegible]	[illegible]
13	130/133	115/112	107/101	102/95	96/86	[illegible]	[illegible]
13.5	124/127	109/107	102/97	97/91	91/83	[illegible]	[illegible]
14	118/122	104/103	97/93	93/87	87/79	[illegible]	[illegible]



Fatigue analysis—allowable load repetitions based on stress ratio factor (with & without concrete shoulder)

.31 connect 265
unlimited repetation
High

Calculation of Pavement Thickness

Project: Design 1 – Four-lane rural Interstate, dowels, asphalt shoulder

Trial thickness: 9.5 in.
Subbase-subgrade k: 130 pci
Modulus of rupture, MR: 650 psi
Load safety factor, LSF: 1.2

Doweled joints: yes X no ___
Concrete shoulder: yes ___ no X
Design period: 20 years

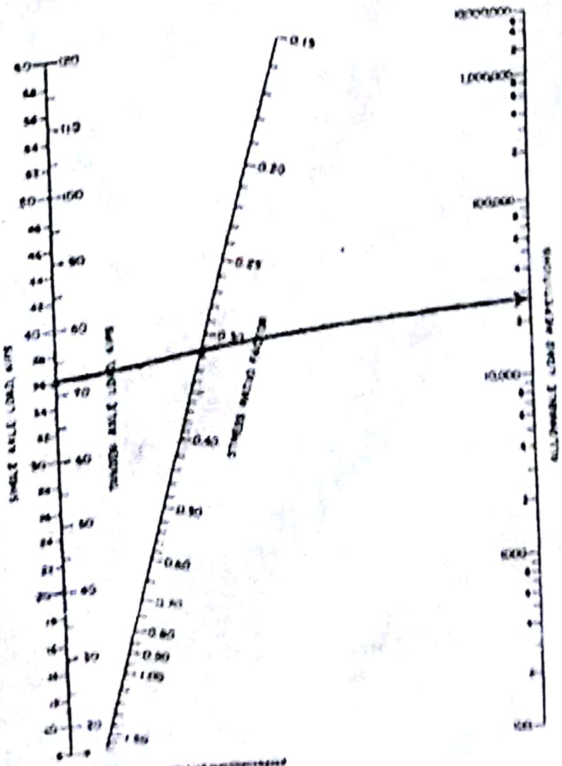
Axle load, kips	Multiplied by LSF	Expected repetitions	Fatigue analysis: Allowable repetitions	Fatigue analysis: Fatigue, percent	Erosion analysis: Allowable repetitions	Erosion analysis: Damage, percent
1	2	3	4	5	6	7

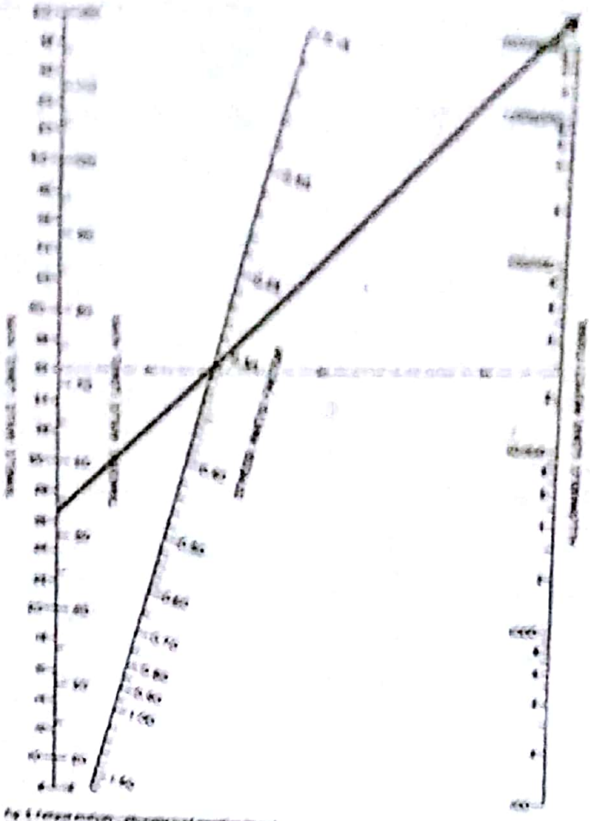
8. Equivalent stress: 206
9. Stress ratio factor: 0.317 ← 206/MR
10. Erosion factor: ___

Single Axles (Static) (1.2×30 Dynamic) (actual)

Axle load, kips	Multiplied by LSF	Expected repetitions	Allowable repetitions	Fatigue, percent	Allowable repetitions	Damage, percent
30	36.0	6310	27000	6310/27000 = 23.4		
		↓ Fatigue				

$\frac{47-26}{56} \times 20 + 200$





Calculation of Pavement Thickness

Project: Design 1 – Four-lane rural interstate, dowels, asphalt shoulder

Trial thickness: 9.5 in.
Subbase-subgrade k: 130 pci
Modulus of rupture, MR: 650 psi
Load safety factor, LSF: 1.2

Doweled joints: yes X no ___
Concrete shoulder: yes ___ no X
Design period: 20 years

Axle load, kips	Multiplied by LSF	Expected repetitions	Fatigue analysis: Allowable repetitions	Fatigue analysis: Fatigue, percent	Erosion analysis: Allowable repetitions	Erosion analysis: Damage, percent
1	2	3	4	5	6	7

8. Equivalent stress: 206
9. Stress ratio factor: 0.317
10. Erosion factor: ___

Single Axles

30	36.0	6310	27,000	23.4		
28	33.6	14,690	77,000	19.1		
26	31.2	30,140	230,000	13.1		
24	28.8	64,410	1,200,000	5.4		
22	26.4	106,900	unlimited	0.0		
				Σ = 61.0		

single axle tota
61% damage. Now
we will check for
tandem (39%)

~~Single axle tota~~ 61
~~damage~~
~~Now available~~ for tande
= 39%.

Calculation of Pavement Thickness

Project: *Design 1 – Four-lane rural Interstate, dowels, asphalt shoulder*

Trial thickness	*9.5* in	Doweled joints:	yes *X* no ___
Subbase-subgrade k	*130* pci	Concrete shoulder:	yes ___ no *X*
Modulus of rupture, MR	*650* psi	Design period	*20* years
Load safety factor, LSF	*1.2*		

Axle load, kips	Multiplied by LSF	Expected repetitions	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue, percent	Allowable repetitions	Damage, percent
1	2	3	4	5	6	7

183 + (205 − 183) × 0.5 / 10

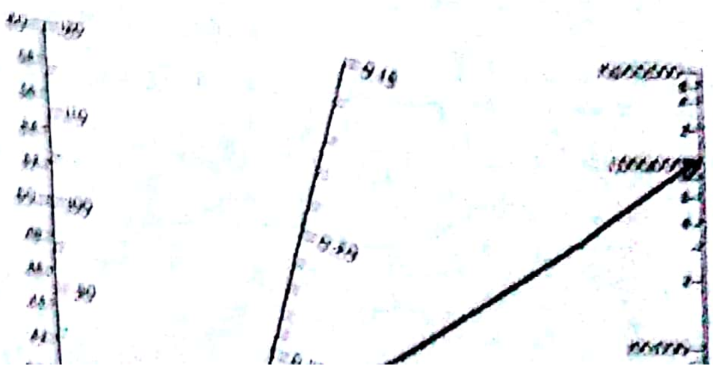
11. Equivalent stress *192*

12. Stress ratio factor *0.295* ← *192/650*

13. Erosion factor ______

Tandem Axles

52	*62.4*	*21,320*				



Scanned by CamScanner

Calculation of Pavement Thickness

Project: Design 1 – Four-lane rural interstate, dowels, asphalt shoulder

Trial thickness: 9.5 in

Subbase-subgrade k: 130 pci

Modulus of rupture, MR: 650 psi

Load safety factor, LSF: 1.2

Doweled joints: yes X no ____

Concrete shoulder: yes ____ no X

Design period: 20 years

Axle load, kips	Multiplied by LSF	Expected repetitions	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue, percent	Allowable repetitions	Damage, percent
1	2	3	4	5	6	7

8. Equivalent stress: 206

9. Stress ratio factor: 0.317 ← 206/MR

10. Erosion factor: ____ from table directly

Single Axles

30	36.0	6310	27,000	23.4		
28	33.6	14,690	77,000	19.1		
26	31.2	30,140	230,000	13.1		
24	28.8	64,410	1,200,000	5.4		
22	26.4	106,900	unlimited	0.0		
			Σ =	61.0		

11. Equivalent stress: 192

12. Stress ratio factor: 0.295

13. Erosion factor: ____

Tandem Axles

52	62.4	21,320	1,100,000	1.9		
48	57.6	42,870	unlimited	0.0		
			Σ =	62.9		

এগুলো দিয়ে fatigue

এগুলো [illegible] এগুলো দিয়ে erosion

Erosion Factor

Erosion Factor – Doweled Joints, Concrete Shoulder (Single Axle / Tandem Axle)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.28/3.30	3.24/3.20	3.21/3.13	3.19/3.10	3.15/3.09	3.12/3.08
4.5	3.13/3.19	3.09/3.08	3.06/3.00	3.04/2.96	3.01/2.93	2.98/2.91
5	3.01/3.09	2.97/2.98	2.93/2.89	2.90/2.84	2.87/2.79	2.85/2.77
5.5	2.90/3.01	2.85/2.89	2.81/2.79	2.79/2.74	2.76/2.68	2.73/2.65
6	2.79/2.93	2.75/2.82	2.70/2.71	2.68/2.65	2.65/2.58	2.62/2.54
6.5	2.70/2.86	2.65/2.75	2.61/2.63	2.58/2.57	2.55/2.50	2.52/2.45
7	2.61/2.79	2.56/2.68	2.52/2.56	2.49/2.50	2.46/2.42	2.43/2.38
7.5	2.53/2.73	2.48/2.62	2.44/2.50	2.41/2.44	2.38/2.36	2.35/2.31
8	2.46/2.68	2.41/2.56	2.36/2.44	2.33/2.38	2.30/2.30	2.27/2.24
8.5	2.39/2.62	2.34/2.51	2.29/2.39	2.26/2.32	2.22/2.24	2.20/2.18
9	2.32/2.57	2.27/2.46	2.22/2.34	2.19/2.27	2.16/2.19	2.13/2.13
9.5	2.26/2.52	2.21/2.41	2.16/2.29	2.13/2.22	2.09/2.14	2.07/2.08
10	2.20/2.47	2.15/2.36	2.10/2.25	2.07/2.18	2.03/2.09	2.01/2.03
10.5	2.15/2.43	2.09/2.32	2.04/2.20	2.01/2.14	1.97/2.05	1.95/1.99
11	2.10/2.39	2.04/2.28	1.99/2.16	1.95/2.09	1.92/2.01	1.89/1.95
11.5	2.05/2.35	1.99/2.24	1.93/2.12	1.90/2.05	1.87/1.97	1.84/1.91
12	2.00/2.31	1.94/2.20	1.88/2.09	1.85/2.02	1.82/1.93	1.79/1.87
12.5	1.95/2.27	1.89/2.16	1.84/2.05	1.81/1.98	1.77/1.89	1.74/1.84
13	1.91/2.23	1.85/2.13	1.79/2.01	1.76/1.95	1.72/1.86	1.70/1.80
13.5	1.86/2.20	1.81/2.09	1.75/1.98	1.72/1.91	1.68/1.83	1.65/1.77
14	1.82/2.17	1.76/2.06	1.71/1.95	1.67/1.88	1.64/1.80	1.61/1.74

Erosion Factor – No Dowels, Concrete Shoulder (Single Axle / Tandem Axle)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.46/3.49	3.42/3.39	3.38/3.32	3.36/3.29	[illegible]	[illegible]
4.5	3.32/3.39	3.28/3.28	3.24/3.19	3.22/3.16	[illegible]	[illegible]
5	3.20/3.30	3.16/3.18	3.12/3.09	3.10/3.05	[illegible]	[illegible]
5.5	3.10/3.22	3.05/3.10	3.01/3.00	2.99/2.95	[illegible]	[illegible]
6	3.00/3.16	2.95/3.02	2.90/2.92	2.88/2.87	[illegible]	[illegible]
6.5	2.91/3.08	2.86/2.96	2.81/2.85	2.79/2.79	[illegible]	[illegible]
7	2.83/3.02	2.77/2.90	2.73/2.78	2.70/2.72	[illegible]	[illegible]
7.5	2.76/2.97	2.70/2.84	2.65/2.72	2.62/2.66	[illegible]	[illegible]
8	2.69/2.92	2.63/2.79	2.57/2.67	2.55/2.61	[illegible]	[illegible]
8.5	2.63/2.88	2.56/2.74	2.51/2.62	2.48/2.55	[illegible]	[illegible]
9	2.57/2.83	2.50/2.70	2.44/2.57	2.42/2.51	[illegible]	[illegible]
9.5	2.51/2.79	2.44/2.65	2.38/2.53	2.36/2.46	[illegible]	[illegible]
10	2.46/2.75	2.39/2.61	2.33/2.49	2.30/2.42	[illegible]	[illegible]
10.5	2.41/2.72	2.33/2.58	2.27/2.45	2.24/2.38	[illegible]	[illegible]
11	2.36/2.68	2.28/2.54	2.22/2.41	2.19/2.34	[illegible]	[illegible]
11.5	2.32/2.65	2.24/2.51	2.17/2.38	2.14/2.31	[illegible]	[illegible]
12	2.28/2.62	2.19/2.48	2.13/2.34	2.10/2.27	[illegible]	[illegible]
12.5	2.24/2.59	2.15/2.45	2.09/2.31	2.05/2.24	[illegible]	[illegible]
13	2.20/2.56	2.11/2.42	2.04/2.28	2.01/2.21	[illegible]	[illegible]
13.5	2.16/2.53	2.08/2.39	2.00/2.25	1.97/2.18	[illegible]	[illegible]
14	2.13/2.51	2.04/2.36	1.97/2.23	1.93/2.15	[illegible]	[illegible]

Erosion Factor – Doweled Joints, No Concrete Shoulder (Single Axle / Tandem Axle)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.74/3.83	3.73/3.79	3.72/3.75	3.71/3.73	3.70/3.70	3.68/3.67
4.5	3.59/3.70	3.57/3.65	3.56/3.61	3.55/3.58	3.54/3.55	3.52/3.53
5	3.45/3.58	3.43/3.52	3.42/3.48	3.41/3.45	3.40/3.42	3.38/3.40
5.5	3.33/3.47	3.31/3.41	3.29/3.36	3.28/3.33	3.27/3.30	3.26/3.28
6	3.22/3.38	3.19/3.31	3.18/3.26	3.17/3.23	3.15/3.20	3.14/3.17
6.5	3.11/3.29	3.09/3.22	3.07/3.16	3.06/3.13	3.05/3.10	3.03/3.07
7	3.02/3.21	2.99/3.14	2.97/3.08	2.96/3.05	2.95/3.01	2.94/2.98
7.5	2.93/3.14	2.91/3.06	2.88/3.00	2.87/2.97	2.86/2.93	2.84/2.90
8	2.85/3.07	2.82/2.99	2.80/2.93	2.79/2.89	2.77/2.85	2.76/2.82
8.5	2.77/3.01	2.74/2.93	2.72/2.86	2.71/2.82	2.69/2.78	2.68/2.75
9	2.70/2.96	2.67/2.87	2.65/2.80	2.63/2.76	2.62/2.71	2.61/2.68
9.5	2.63/2.90	2.60/2.81	2.58/2.74	2.56/2.70	2.55/2.65	2.54/2.62
10	2.56/2.85	2.54/2.76	2.51/2.68	2.50/2.64	2.48/2.59	2.47/2.56
10.5	2.50/2.81	2.47/2.71	2.45/2.63	2.44/2.59	2.42/2.54	2.41/2.51
11	2.44/2.76	2.42/2.67	2.39/2.58	2.38/2.54	2.36/2.49	2.35/2.45
11.5	2.38/2.72	2.36/2.62	2.33/2.54	2.32/2.49	2.30/2.44	2.29/2.40
12	2.33/2.68	2.30/2.58	2.28/2.49	2.26/2.44	2.25/2.39	2.23/2.36
12.5	2.28/2.64	2.25/2.54	2.23/2.45	2.21/2.40	2.19/2.35	2.18/2.31
13	2.23/2.61	2.20/2.50	2.18/2.41	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.27
13.5	2.18/2.57	2.15/2.47	2.13/2.37	2.11/2.32	2.09/2.26	2.08/2.23
14	2.13/2.54	2.11/2.43	2.08/2.34	2.07/2.29	2.05/2.21	2.03/2.19

Erosion Factor – No Dowels, No Concrete Shoulder (Single Axle / Tandem Axle)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.94/4.03	3.91/3.95	3.88/3.89	3.86/3.86	[illegible]	[illegible]
4.5	3.79/3.91	3.76/3.82	3.73/3.75	3.71/3.72	[illegible]	[illegible]
5	3.66/3.81	3.63/3.72	3.59/3.64	3.57/3.60	[illegible]	[illegible]
5.5	3.54/3.72	3.51/3.62	3.47/3.53	3.45/3.49	[illegible]	[illegible]
6	3.44/3.64	3.40/3.53	3.37/3.44	3.35/3.40	[illegible]	[illegible]
6.5	3.34/3.56	3.30/3.46	3.26/3.36	3.25/3.31	[illegible]	[illegible]
7	3.26/3.49	3.21/3.39	3.17/3.29	3.15/3.24	[illegible]	[illegible]
7.5	3.18/3.43	3.13/3.32	3.09/3.22	3.07/3.17	[illegible]	[illegible]
8	3.11/3.37	3.05/3.26	3.01/3.16	2.99/3.10	[illegible]	[illegible]
8.5	3.04/3.32	2.98/3.21	2.93/3.10	2.91/3.04	[illegible]	[illegible]
9	2.98/3.27	2.91/3.16	2.86/3.05	2.84/2.99	[illegible]	[illegible]
9.5	2.92/3.22	2.85/3.11	2.80/3.00	2.77/2.94	[illegible]	[illegible]
10	2.86/3.18	2.79/3.06	2.74/2.95	2.71/2.89	[illegible]	[illegible]
10.5	2.81/3.14	2.74/3.02	2.68/2.91	2.65/2.84	[illegible]	[illegible]
11	2.77/3.10	2.69/2.98	2.63/2.86	2.60/2.80	[illegible]	[illegible]
11.5	2.72/3.06	2.64/2.94	2.58/2.82	2.55/2.76	[illegible]	[illegible]
12	2.68/3.03	2.60/2.90	2.53/2.78	2.50/2.72	[illegible]	[illegible]
12.5	2.64/2.99	2.55/2.87	2.48/2.75	2.45/2.68	[illegible]	[illegible]
13	2.60/2.96	2.51/2.83	2.44/2.71	2.40/2.65	[illegible]	[illegible]
13.5	2.56/2.93	2.47/2.80	2.40/2.68	2.36/2.62	[illegible]	[illegible]
14	2.53/2.90	2.44/2.77	2.36/2.65	2.32/2.58	[illegible]	[illegible]

Calculation of Pavement Thickness

Project: Design 1 – Four-lane rural Interstate, dowels, asphalt shoulder

Trial thickness: 9.5 in.
Subbase-subgrade k: 130 pci
Modulus of rupture, MR: 650 psi
Load safety factor, LSF: 1.2

Doweled joints: yes X no ___
Concrete shoulder: yes ___ no X
Design period: 20 years

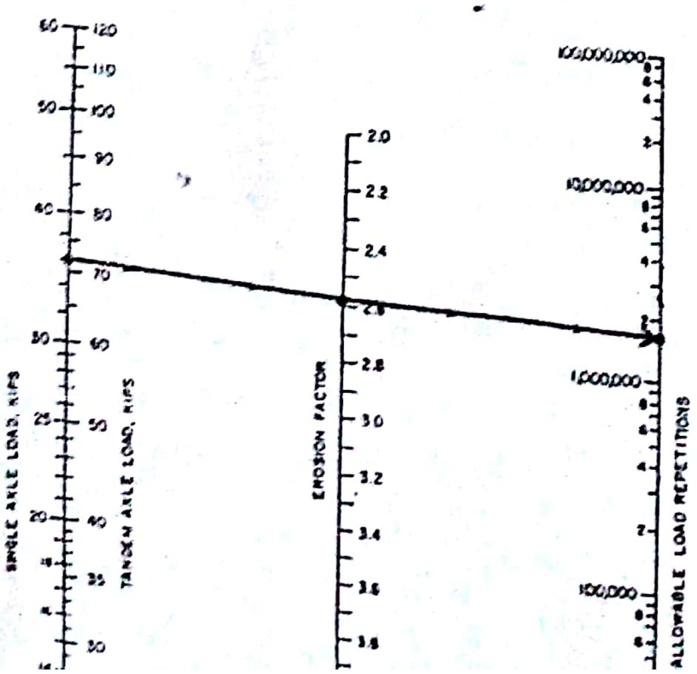
Axle load, kips	Multiplied by LSF	Expected repetitions	Fatigue analysis		Erosion analysis	
			Allowable repetitions	Fatigue, percent	Allowable repetitions	Damage, percent
1	2	3	4	5	6	7

8. Equivalent stress: 206
9. Stress ratio factor: 0.317
10. Erosion factor: 2.59

2.6 - 2.56 / 100 × 30

Single Axles

30	36.0	6310	27,000	23.4		
28	33.6	14,690	77,000	19.1		
26	31.2	30,140	230,000	13.1		
24	28.8	64,410	1,200,000	5.4		
22	26.4	106,900	unlimited	0.0		



Example 2

Design the thickness of a concrete pavement using PCA method for the conditions given below

General Data

Trafic (Average Daily Traffic, ADT):	400 veh/day (both directions)
Trucks:	20 percent of ADT
Annual growth:	3 percent
Modulus of Rupture, M_R:	650 psi
Modulus of Subgrade Reaction, k:	100 pci
Design life:	20 years

Truck Axle Distributions

Axle Load Group (kips)	No. axles per 100 trucks on the road	
	Single Axles	Tandem Axles
12-14	8.0	
14-16	7.3	
16-18	6.1	
18-20	5.4	
20-22	3.2	
22-24		7.6
24-26		8.4
26-28		9.0
28-30		11.2
30-32		9.4
32-34		1.8
34-36		1.4
36-38		0.9
38-40		1.0
40-42		0.1
42-44		0.1
44-46		0.1

→ ওভারটাইম? ৩০% Say 5 T/. 2

ইঞ্চি. 9.5 overdesign হবে

cement দিয়ে thickness কমানো